

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 11.06.12.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 13.12.13 Bulletin 13/50.

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

60 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

71 Demandeur(s) : MICROTURBO Société par actions  
simplifiée — FR.

72 Inventeur(s) : SILET FABIEN, CHEVALIER STE-  
PHANE et RIDEAU JEAN FRANCOIS.

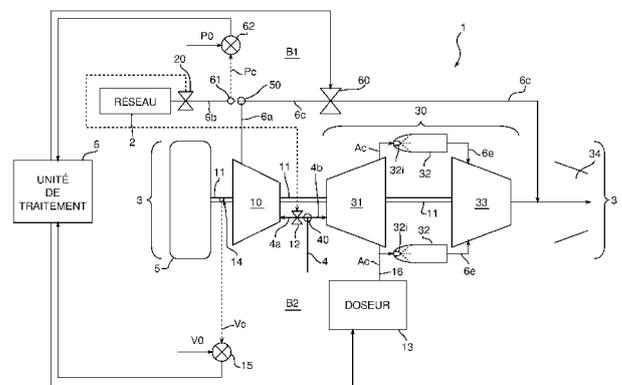
73 Titulaire(s) : MICROTURBO Société par actions sim-  
plifiée.

74 Mandataire(s) : GEVERS FRANCE.

54 PROCEDE ET SYSTEME DE REGULATION DE FOURNITURE D'AIR COMPRIME A UN RESEAU  
PNEUMATIQUE, EN PARTICULIER D'AERONEF.

57 L'invention permet de s'affranchir des compresseurs de charge surdimensionnés pour fournir de l'air comprimé à un réseau pneumatique, en particulier au réseau d'un aéronef. Ce surdimensionnement absorbe les fortes pertes de charge générées par la régulation des vannes IGV d'accès d'air à ce compresseur. Pour palier ce problème, la gestion des variations des débits d'air prélevé est basée par une éjection régulée du surplus d'air non consommé par le réseau.

Un système de fourniture d'air comprimé (1) à un réseau pneumatique (2) comporte un compresseur de charge (10), une alimentation en air (4) et un arbre de puissance (11) entraînant le compresseur de charge (10). Selon l'invention, il comporte également, en sortie d'air de ce compresseur de charge (10), un canal de liaison (6a) relié, d'une part, à un canal (6b) de connexion au réseau pneumatique (2) et, d'autre part, à un conduit d'évacuation d'air (6c) vers une tuyère d'échappement (34). Des vannes de prélèvement de débit d'air (12, 20, 60) sont commandées par une unité de traitement (6) via des boucles d'asservissement (B1, 62, Pc, P0; B2, 15, Vc, VO) en fonction des mesures de capteurs de pression (61) et de vitesse (14).



**PROCÉDÉ ET SYSTEME DE REGULATION  
DE FOURNITURE D'AIR COMPRIMÉ À UN RESEAU PNEUMATIQUE,  
EN PARTICULIER D'AERONEF**

5

**DESCRIPTION**

**DOMAINE TECHNIQUE**

**[0001]** L'invention concerne un procédé de régulation de fourniture d'air comprimé à un réseau pneumatique en particulier pour le réseau d'un aéronef –  
10 notamment mais non exclusivement à partir d'un groupe auxiliaire de puissance, en abrégé APU (initiales de « auxiliary power unit » en terminologie anglaise) équipant en général l'aéronef – ainsi qu'un système de régulation pour sa mise en œuvre.

**[0002]** L'invention s'applique aux aéronefs, c'est-à-dire aussi bien aux avions  
15 (avions commerciaux, régionaux, ou petit avion de type jet) qu'aux hélicoptères. L'invention peut utiliser un entraînement par le groupe APU équipant l'aéronef, mais également un moteur à piston, ou un moteur électrique.

**[0003]** Les aéronefs sont équipés d'une motorisation comprenant des moteurs principaux – dédiés à la propulsion et, en régime de croisière, à la production  
20 d'énergie non propulsive d'équipements consommateurs d'énergie (pneumatique, mécanique, hydraulique, électricité, etc.) – ainsi que, en général, un groupe APU.

**[0004]** Un groupe APU est un petit turbogénérateur ou moteur auxiliaire composé classiquement d'une entrée d'air, d'un générateur de gaz et d'une  
25 tuyère d'échappement. Le générateur de gaz est ensemble compresseur – chambre de combustion – turbine. La turbine, alimentée par les gaz de combustion sortants de la chambre - dans laquelle un mélange d'air comprimé et de carburant a été injecté - entraîne le compresseur et transmet de la puissance mécanique à une boîte accessoire. Les équipements consommateurs d'énergie

sont alimentés par la boîte accessoire via une pompe hydraulique, une pompe pneumatique ou un alternateur.

**[0005]** Le groupe APU fournit ainsi de l'énergie non propulsive au sol et éventuellement en vol, lorsque les moteurs principaux ne sont plus en mesure de  
5 fournir de l'énergie non propulsive : par exemple dans le cas où les conditions de vol deviennent difficiles ou pour des phases délicates (recherche, milieu hostile, etc.) dans le cadre de missions particulières, ou en cas de défaillance d'un ou plusieurs générateurs intégrés aux moteurs principaux.

**[0006]** Le besoin en puissance pneumatique étant en général élevé, un  
10 compresseur de charge est en général dédié à la fourniture de ce type de puissance. Ce compresseur de charge est entraîné mécaniquement par le générateur de gaz du groupe APU et génère la puissance pneumatique voulue.

#### **ÉTAT DE LA TECHNIQUE**

**[0007]** L'énergie pneumatique consommée par le réseau aéronef est variable  
15 et doit être adaptée aux variations de débits, tout en garantissant une pression minimale dans le réseau. De plus, en général, le groupe APU ne fournit cette puissance pneumatique qu'au sol. La puissance consommée par le compresseur de charge en vol doit être réduite puisque la puissance pneumatique n'est alors pas consommée.

**[0008]** Afin de gérer les variations de débit d'air comprimé consommé par le  
20 réseau, le compresseur de charge est équipé de vannes de guidage interne ou IGV, initiales de « Inlet Guide Valve » en terminologie anglaise. L'ouverture de ces vannes IGV est pilotée en entrée du compresseur afin de faire varier la capacité de variation de débit d'air.

**[0009]** Ces vannes IGV n'ayant pas un degré de réactivité suffisamment  
25 élevé, une vanne anti-pompage est en général prévue pour pouvoir palier aux variations brutales des débits d'air prélevés et éviter ainsi les reflux d'air. Cette vanne anti-pompage est extrêmement réactive, de l'ordre de 100 à 200 millisecondes. Par ailleurs, en vol, lorsque la génération d'air n'est pas utilisée, le

couple résistif du compresseur de charge est réduit au maximum par fermeture des vannes IGV et la vanne anti-pompage est ouverte au maximum.

**[0010]** Cependant, cette solution de gestion des variations de débit d'air nécessite un surdimensionnement du compresseur de charge. En effet, la  
5 fermeture des vannes IGV génère de fortes pertes de charge. De ce fait, afin de maintenir une pression suffisante – en particulier lors de faibles prélèvements d'air – le compresseur est surdimensionné pour pouvoir gagner en termes de taux de compression au regard de sa capacité de génération d'air à l'état nominal. Du fait de ce surdimensionnement, le moteur n'est pas optimisé en masse et cela  
10 représente alors un handicap majeur sur les engins volants.

### **EXPOSÉ DE L'INVENTION**

**[0011]** L'invention vise à palier cet inconvénient majeur en basant la gestion des variations des débits d'air prélevé non pas sur un positionnement des vannes IGV mais par une éjection régulée du surplus d'air non consommé par le réseau.

**[0012]** Plus précisément, la présente invention a pour objet un procédé de  
15 régulation de la fourniture d'air comprimé à un réseau pneumatique, dans lequel, la fourniture étant assurée par un compresseur de charge, l'air comprimé est régulé en fonction des besoins instantanés du réseau pneumatique en évacuant tout l'air comprimé non consommé par ce réseau vers l'échappement des gaz via  
20 une ouverture variable asservie à la pression de l'air fourni au réseau pneumatique. Ainsi, le compresseur de charge est sollicité, à un point de vol donné, au même point de fonctionnement quel que soit le débit d'air demandé par le réseau pneumatique.

**[0013]** Ce procédé permet de ne pas surdimensionner le compresseur de  
25 charge qui reste alors dimensionné en termes de taux de compression au regard de sa capacité maximale de débit en régime nominal. Des gains significatifs en termes de puissance consommée par le compresseur de charge sont ainsi générés. De plus, le compresseur étant de plus petite dimension, sa masse est également réduite. Il en est de même des systèmes de rétention du compresseur

(rouet, attache-couvercle, etc.). Avantageusement, l'énergie à contenir en cas d'éclatement du rouet est revue à la baisse.

**[0014]** Selon des modes de mise en œuvre particuliers :

- 5 - une commande d'ouverture de l'air comprimé vers l'échappement des gaz est asservie à une pression de consigne donnée ;
- une commande de génération d'air du compresseur de charge selon l'une des deux positions d'ouverture/fermeture 0/1 est asservie à la position d'ouverture/fermeture 0/1 de l'entrée du réseau ; en particulier, des vannes IGV d'accès d'air au compresseur de charge sont régulées selon deux positions en  
10 fonction de la position d'ouverture/fermeture de la commande de génération d'air du compresseur de charge. ; ainsi les vannes IVG n'ont pas besoin d'être régulées sur toute la plage de variation et le pilotage des IGV en est avantageusement simplifié.

**[0015]** L'invention se rapporte également à un système de régulation de  
15 fourniture d'air comprimé à un réseau pneumatique apte à mettre en œuvre le procédé ci-dessus. Ce système comporte un compresseur de charge, une alimentation en air et un arbre de puissance apte à entraîner en rotation le compresseur de charge. Il comporte également, en sortie d'air comprimé de ce compresseur de charge, un canal de liaison relié, d'une part, à un canal de  
20 connexion au réseau pneumatique et, d'autre part, à un conduit d'évacuation d'air vers une tuyère d'échappement des gaz, ainsi que des vannes de prélèvement de débit d'air, commandées par une unité de traitement de données en fonction des mesures d'un capteur de pression disposé sur la connexion au réseau pneumatique, les vannes étant disposées sur l'alimentation d'air, sur la connexion  
25 au réseau pneumatique et sur le conduit d'évacuation.

**[0016]** Selon des modes de réalisation préférés :

- la vanne de prélèvement disposée sur le conduit d'évacuation est choisie entre une vanne de régulation proportionnelle dans une gamme

déterminée autour d'une pression de consigne, une vanne anti-pompage et une soupape de décharge tarée à la pression de consigne ;

- les vannes de prélèvement disposées sur l'alimentation et sur la connexion au réseau pneumatique sont des vannes réglables sur deux positions d'états 0/1 d'ouverture/fermeture extrêmes ;

- les vannes disposées sur l'alimentation d'air du compresseur de charge sont des vannes IGV ;

- l'arbre d'entraînement en rotation du compresseur est un arbre de puissance mécanique choisi entre celui d'un générateur de gaz de groupe APU, d'un groupe moteur terrestre, par exemple de machine-outil, d'un moteur à piston et d'un moteur électrique ;

- la vitesse de l'arbre de puissance mécanique du groupe APU est régulée par un doseur de débit de carburant injecté dans une chambre de combustion du groupe APU, le débit étant ajusté en permanence de sorte que la vitesse dudit arbre mesurée par un capteur de vitesse corresponde à une valeur de consigne.

### **BRÈVE DESCRIPTION DE LA FIGURE UNIQUE**

**[0017]** D'autres aspects, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront dans la description non limitative qui suit, relative à un exemple de réalisation particulier, en référence à la figure unique annexée.

**[0018]** Cette figure représente un exemple de schéma d'architecture de base pour un système de fourniture d'air comprimé à un réseau pneumatique d'aéronef, et régulé selon l'invention à partir d'un compresseur de charge entraîné par un arbre de puissance d'un groupe APU.

### **DESCRIPTION DÉTAILLÉE D'UN MODE DE RÉALISATION**

**[0019]** En référence au schéma de la figure unique, l'exemple d'architecture de base pour un système 1 de fourniture d'air comprimé au réseau pneumatique 2 d'un aéronef comporte un compresseur de charge 10, entraîné par l'arbre de

puissance 11 d'un groupe APU 3 d'un aéronef. Un groupe APU est sollicité au sol et parfois en vol pour la fourniture d'énergie non propulsive. En particulier, en phase de descente, de l'énergie pneumatique supplémentaire peut être nécessaire pour permettre un dégivrage efficace de l'avion ou pour délester les  
5 moteurs principaux des fonctions non propulsives.

**[0020]** Ce groupe APU 3 se compose essentiellement d'un générateur de gaz 30 – couplant un compresseur principal 31, une chambre de combustion 32 et une turbine de puissance 33 – et d'une tuyère 34 d'éjection des gaz en postcombustion.

10 **[0021]** Une alimentation en air 4 fournit de l'air au compresseur principal 31 et au compresseur de charge 10 via des vannes IGV 12. Pour ce faire, l'alimentation 4 se sépare respectivement en deux conduits 4a et 4b à travers un raccord en « T » 40. Le compresseur 31 alimente les injecteurs 32i de la chambre de combustion 32 en air comprimé Ac pré-mélangé au carburant. La combustion de  
15 ce mélange dans la chambre 32 alimente la turbine 33 en gaz 6e fortement énergétiques, entraînant alors en rotation l'arbre de puissance 11.

**[0022]** Cet arbre 11 entraîne à son tour le compresseur principal 31, le compresseur de charge 10 et une boîte accessoire 5. Cette boîte accessoire 5 relie l'arbre 11 par des trains d'engrenage à d'autres équipements  
20 consommateurs d'énergie : alternateurs, pompes hydrauliques ou moteurs annexes. Pour sa part, le compresseur de charge 10 alimente en air comprimé le réseau pneumatique 2 via un canal de liaison 6a.

**[0023]** Selon l'invention, le système 1 comporte des équipements de régulation de fourniture d'air en liaison avec l'architecture de base. Ainsi, en  
25 sortie d'air comprimé du compresseur de charge 10, le canal 6a est divisé pour être relié d'une part au réseau pneumatique 2 via un canal de connexion 6b et, d'autre part, à un conduit d'évacuation d'air 6c vers la tuyère d'échappement des gaz 34. Les liaisons entre canaux et conduit sont réalisées via un raccord en « T » 50.

**[0024]** Plus particulièrement, l'accès au réseau pneumatique 2 est commandé par une vanne 20 réglable sur deux positions d'états 0/1 d'ouverture/fermeture extrêmes lorsque le réseau 2 est demandeur d'air. L'état d'ouverture 0/1 de la vanne 20 règle également l'arrivée d'air dans le conduit 4a par un transfert de commande d'état 0/1 d'ouverture/fermeture d'une vanne 12.

**[0025]** L'évacuation d'air vers la tuyère 34 est réglée quant à elle par une vanne de régulation 60 d'ouverture variable en fonction du surplus d'air à évacuer.

**[0026]** La vanne de régulation 60 est ici une vanne d'ouverture proportionnelle réglée sur un différentiel établi par une boucle d'asservissement B1. La boucle B1 comporte un capteur de pression 61, disposé sur le canal de connexion 6b au réseau 2, et un comparateur 62 qui établit le différentiel de pression  $\Delta P$  entre une valeur de pression de consigne  $P_0$  et la valeur de pression courante  $P_c$  mesurée par le capteur 61. A partir du différentiel  $\Delta P$ , une commande de position de la vanne de régulation 60 est élaborée par une fonction de transfert d'une unité de traitement de données 6. Dans l'exemple illustré, cette unité est l'unité de commande numérique ou FADEC (initiale de « Full Authority Digital Electronic Controller » en terminologie anglaise) du groupe APU.

**[0027]** Par ailleurs, cette unité de traitement de données 6 pilote également la fonction de transfert de la commande de position 0/1 des vannes IGV 12 d'arrivée d'air dans le compresseur de charge 10. En particulier, ces vannes sont commandées en position 0/1 de sorte que leur fermeture complète, dès qu'aucun surplus d'air n'est demandé, permet d'éviter la création d'un couple résistif pénalisant.

**[0028]** De plus, cette unité de traitement de données 6 régule la rotation de l'arbre de puissance mécanique 11 du groupe APU 3 par le pilotage d'un doseur 13 de carburant 16. Le carburant 16 est pré-mélangé à l'air comprimé avant d'être injecté dans la chambre de combustion 32 du groupe APU 3 via les injecteurs 32i. Un asservissement est mis en œuvre par une boucle B2 comportant un capteur de vitesse 14, disposé sur l'arbre de puissance 11, et un comparateur 15. Ce

comparateur 15 établit le différentiel  $\Delta V$  entre la vitesse courante  $V_c$ , mesurée par le capteur de vitesse 14, et une valeur de vitesse de consigne  $V_0$ . A partir du différentiel  $\Delta V$ , l'unité de traitement de données 6 élabore une commande de dosage au doseur de carburant 13 via en fonction de transfert appropriée.

5        **[0029]** L'invention n'est pas limitée aux exemples décrits et représentés.

**[0030]** Il est par exemple possible d'utiliser d'autres vannes de prélèvement que la vanne de régulation 60, en particulier la vanne anti-pompage ou une soupape de décharge tarée en fonction de la pression de consigne de la boucle B1.

10       **[0031]** Par ailleurs, l'arbre de puissance peut être entraîné par un générateur d'énergie mécanique autre qu'un groupe APU. Par exemple, dans des domaines autres que l'aéronautique, une turbine ou un groupe moteur terrestre de machine-outil, un moteur à piston ou un moteur électrique.

15       **[0032]** En outre, les vannes IGV peuvent être remplacées par un débrayage adapté de l'alimentation d'air.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de régulation de la fourniture d'air comprimé à un réseau pneumatique (2), dans lequel, la fourniture étant assurée par un compresseur de charge (10), l'air comprimé est régulé en fonction des besoins instantanés du réseau pneumatique (2) en évacuant tout l'air comprimé non consommé par ce réseau (2) vers l'échappement des gaz (34) via une ouverture variable (60) asservie à la pression de l'air fourni au réseau pneumatique (2), le compresseur de charge (10) fonctionne au même point quel que soit le débit d'air demandé par le réseau pneumatique (2).

2. Procédé de régulation selon la revendication précédente, dans lequel une commande d'ouverture de l'air comprimé vers l'échappement des gaz (34) est asservie (B1) à une pression de consigne donnée (P0).

3. Procédé de régulation selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel une commande de génération d'air (12) du compresseur de charge (10) selon l'une des deux positions d'ouverture/fermeture 0/1 est asservie à la position d'ouverture/fermeture 0/1 de l'entrée du réseau (2).

4. Système de régulation de fourniture d'air comprimé (1) à un réseau pneumatique (2) apte à mettre en œuvre le procédé selon l'une des revendications 1 à 3, ce système comportant un compresseur de charge (10), une alimentation en air (4) et un arbre de puissance (11) apte à entraîner en rotation le compresseur de charge (10), caractérisé en ce qu'il comporte également, en sortie d'air comprimé de ce compresseur de charge (10), un canal de liaison (6a) relié, d'une part, à un canal (6b) de connexion au réseau pneumatique (2) et, d'autre part, à un conduit d'évacuation d'air (6c) vers une tuyère d'échappement des gaz (34), ainsi que des vannes de prélèvement de débit d'air (12, 20, 60), commandées par une unité de traitement de données (6) en fonction des mesures d'un capteur de pression (61) disposé sur la connexion (6b) au réseau pneumatique (2), les vannes (12, 20, 60) étant disposées sur l'alimentation d'air

(4), sur la connexion (6b) au réseau pneumatique (2) et sur le conduit d'évacuation (6c).

5 5. Système de régulation selon la revendication précédente, dans lequel la vanne de prélèvement (60) disposée sur le conduit d'évacuation (6c) est choisie entre une vanne de régulation proportionnelle dans une gamme déterminée autour d'une pression de consigne (P0), une vanne anti-pompage et une soupape de décharge tarée à la pression de consigne (P0).

10 6. Système de régulation selon la revendication 4, dans lequel les vannes de prélèvement (12, 20) disposées sur l'alimentation (4) et sur la connexion (6b) au réseau pneumatique (2) sont des vannes réglables sur deux positions d'états 0/1 d'ouverture/fermeture extrêmes.

7. Système de régulation selon l'une des revendications 4 ou 5, dans les vannes (60) disposées sur l'alimentation d'air (4) du compresseur de charge (10) sont des vannes IGV.

15 8. Système de régulation selon l'une des revendications 4 à 7, dans lequel l'arbre d'entraînement en rotation du compresseur est un arbre de puissance mécanique (11) choisi entre celui d'un générateur de gaz de groupe APU (3), d'un groupe moteur terrestre, d'un moteur à piston et d'un moteur électrique.

20 9. Système de régulation selon la revendication précédente, dans lequel la vitesse de l'arbre de puissance mécanique (11) du groupe APU (3) est régulée par un doseur (13) de débit de carburant injecté dans une chambre de combustion (32) du groupe APU (3), le débit étant ajusté en permanence de sorte que la vitesse (Vc) dudit arbre (11) mesurée par un capteur de vitesse (14)  
25 corresponde à une valeur de consigne (V0).

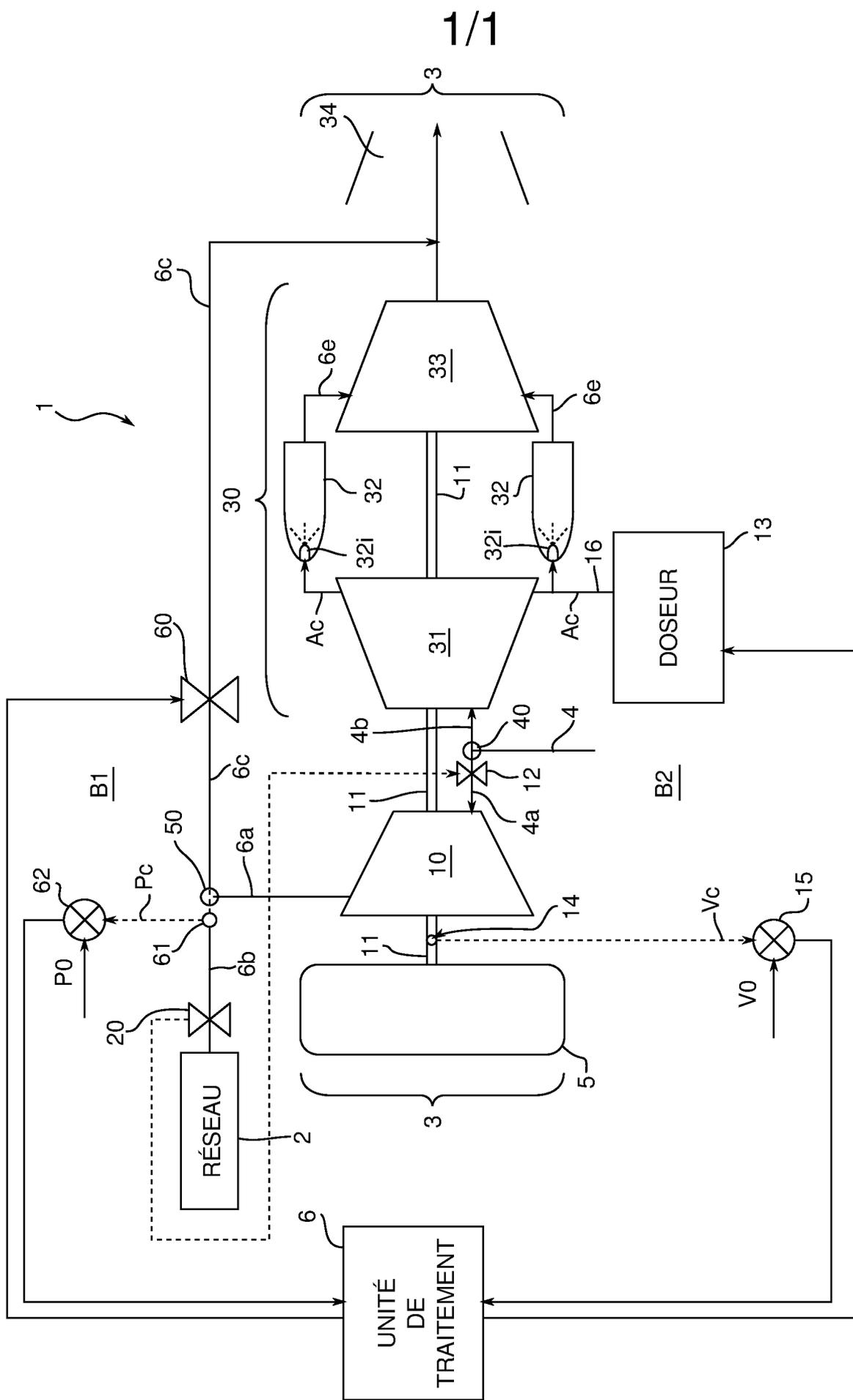


Figure unique



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 767144  
FR 1255420

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 4 627 234 A (SCHUH PAUL A [US]) 9 décembre 1986 (1986-12-09) * figure 5 *	1-9	F04B49/06 F04C28/00 F04D27/00 B64D41/00
X	EP 0 059 061 A2 (GARRETT CORP [US]) 1 septembre 1982 (1982-09-01) * figure 1 *	1-8	
X	WO 01/23724 A2 (ALLIED SIGNAL INC [US]) 5 avril 2001 (2001-04-05) * figure 1 *	1-6,8	
X	US 3 965 673 A (FRIEDRICH HELMUT) 29 juin 1976 (1976-06-29) * figure 1 *	1-9	
X	US 2010/313573 A1 (WALTERS JEREMY J [US] ET AL) 16 décembre 2010 (2010-12-16) * figures 1, 2A, 2B *	1-3	
A	US 3 446 425 A (CLEEVES VINCENT F) 27 mai 1969 (1969-05-27) * figure 2 *	1-9	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)  F01D F04C B64D F04D F02C
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
30 janvier 2013		Rapenne, Lionel	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		.....	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1255420 FA 767144**

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

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **30-01-2013**

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

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4627234	A	09-12-1986	JP 5078658 B	29-10-1993
			JP 60011634 A	21-01-1985
			US 4627234 A	09-12-1986
-----				
EP 0059061	A2	01-09-1982	DE 3278372 D1	26-05-1988
			EP 0059061 A2	01-09-1982
			JP 3048359 B	24-07-1991
			JP 57153995 A	22-09-1982
			US 4380893 A	26-04-1983
-----				
WO 0123724	A2	05-04-2001	AT 287033 T	15-01-2005
			DE 60017418 D1	17-02-2005
			DE 60017418 T2	23-03-2006
			EP 1208295 A2	29-05-2002
			US 6305156 B1	23-10-2001
			WO 0123724 A2	05-04-2001
-----				
US 3965673	A	29-06-1976	AUCUN	
-----				
US 2010313573	A1	16-12-2010	AUCUN	
-----				
US 3446425	A	27-05-1969	AUCUN	
-----				