

(19)



(11)

EP 3 088 741 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
02.11.2016 Bulletin 2016/44

(51) Int Cl.:
F04D 13/04 (2006.01) **F04D 13/06** (2006.01)
F04D 15/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **16167333.0**

(22) Date de dépôt: **27.04.2016**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
MA MD

(72) Inventeurs:
• **Klein, Manuel**
27200 Vernon (FR)
• **Deneuve, Ariane**
78300 Poissy (FR)

(74) Mandataire: **Gilbey, Vincent et al**
Cabinet Beau de Loménie
158, rue de l'Université
75340 Paris Cedex 07 (FR)

(30) Priorité: **28.04.2015 FR 1500900**

(71) Demandeur: **SNECMA**
75015 Paris (FR)

(54) **SYSTÈME DE CONTRÔLE AMÉLIORÉ POUR UNE TURBOPOMPE**

(57) Turbopompe (1) d'engin spatial comprenant
- un ensemble fixe définissant un stator de la turbopompe (1), et
- un ensemble mobile définissant un rotor de la turbopompe, comprenant un arbre d'entraînement (2),
- un générateur magnétique de couple (5) configuré de manière à sélectivement appliquer un couple sur l'arbre d'entraînement (2),
la turbopompe (1) présentant deux régimes stables de

fonctionnement (R2, R3) disjoints,
caractérisée en ce qu'elle comprend en outre une unité de commande (6), configurée de manière à piloter le générateur magnétique de couple (5) afin d'appliquer sélectivement un couple moteur ou résistant sur l'arbre d'entraînement (2) en fonction d'une commande appliquée, de manière à définir un régime stable intermédiaire (R3) entre lesdits deux régimes stables de fonctionnement (R2, R3) disjoints.

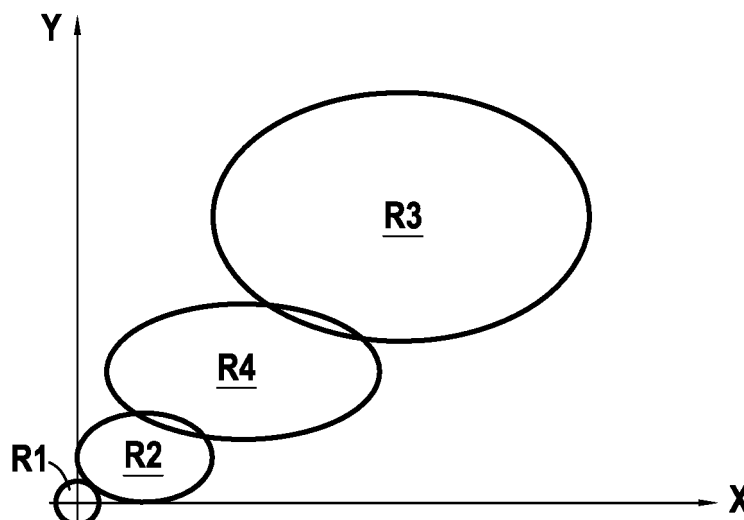


FIG.3

EP 3 088 741 A1

Description

[0001] La présente invention concerne le domaine des turbopompes, utilisées notamment pour les engins spatiaux.

ETAT DE L'ART

[0002] Les turbopompes utilisées pour les moteurs d'engins spatiaux doivent communément fonctionner sur des domaines étendus.

[0003] Le contrôle des turbopompes est communément réalisé soit via le pilotage du débit en entrée de la turbopompe, par exemple en restreignant le débit en aval de la turbopompe, soit via le pilotage de la vitesse de rotation d'un arbre d'entraînement de la turbopompe, par exemple en contrôlant l'énergie apportée à cet arbre d'entraînement, communément par une turbine.

[0004] Un tel contrôle est adapté dans la plage nominale de fonctionnement d'une turbopompe, une fois démarrée et en régime stable, et disposant de suffisamment d'énergie pour permettre un gain important entre un actionneur et le paramètre à contrôler.

[0005] Les turbopompes présentent en effet plusieurs régimes stables, à savoir :

- R1 : A l'arrêt,
- R2 : En attente, dans lequel la turbopompe est en fonctionnement mais sa vitesse de rotation et le couple appliqué sont minimisés,
- R3 : En régime nominal, à vitesse de rotation et couple élevés.

[0006] Ces régimes R1, R2 et R3 sont indiqués schématiquement sur la figure 1, en fonction de la poussée délivrée (axe horizontal X) et de la vitesse de rotation (axe vertical Y).

[0007] Les contrôles conventionnels ne sont cependant pas adaptés pour permettre un fonctionnement en régime stable entre le régime d'attente R2, et le régime nominal R3 de la turbopompe. En effet, les turbopompes ont tendance soit à converger vers le régime nominal du fait d'apports d'énergie résultant du cycle thermodynamique ayant lieu au sein de la turbopompe, soit à demeurer en régime d'attente en l'absence d'apport d'énergie additionnelle.

[0008] On cherche ainsi à obtenir un fonctionnement amélioré entre le régime d'attente et le régime nominal.

PRESENTATION DE L'INVENTION

[0009] La présente invention vise à répondre au moins en partie à ces problématiques, et propose ainsi une turbopompe comprenant

- un ensemble fixe définissant un stator de la turbopompe, et
- un ensemble mobile définissant un rotor de la turbo-

pompe, comprenant un arbre d'entraînement,

caractérisée en ce que la turbopompe comprend un générateur magnétique de couple configuré de manière à sélectivement appliquer un couple sur l'arbre d'entraînement.

[0010] La turbopompe peut comprendre en outre une unité de commande, configurée de manière à piloter le générateur magnétique de couple afin d'appliquer sélectivement un couple moteur ou résistant sur l'arbre d'entraînement par exemple en fonction de l'état de la turbopompe ou d'une commande appliquée par un logiciel de commande.

[0011] Le générateur magnétique de couple comprend par exemple des pôles magnétiques disposés sur le stator et sur le rotor de la turbopompe, de manière à former une machine synchrone.

En variante, le générateur magnétique de couple comprend par exemple des pôles magnétiques disposés sur le stator, et un matériau ferromagnétique disposé sur le rotor, adapté pour permettre la génération d'un champ induit, de manière à former une machine asynchrone.

[0012] Le générateur magnétique de couple est par exemple configuré de manière à générer un flux radial et/ou axial.

[0013] Le générateur magnétique de couple peut être configuré de manière à établir un champ magnétique de maintien radial de l'arbre d'entraînement et réaliser ainsi une fonction palier, et/ou configuré de manière à former une butée limitant le déplacement axial de l'arbre d'entraînement et réaliser ainsi une fonction d'équilibrage. Ledit champ magnétique de maintien est par exemple un champ répulsif, configuré pour maintenir l'arbre d'entraînement espacé du stator de la turbopompe.

PRESENTATION DES FIGURES

[0014] D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des figures annexées, sur lesquelles :

- La figure 1 présentée précédemment illustre les modes de fonctionnement conventionnels d'une turbopompe,
- La figure 2 présente schématiquement un système selon un aspect de l'invention,
- La figure 3 illustre les modes de fonctionnement obtenus au moyen d'un tel système.

[0015] Sur l'ensemble des figures, les éléments en commun sont repérés par des références numériques identiques.

DESCRIPTION DETAILLEE

[0016] La figure 2 présente schématiquement une turbopompe 1 selon un aspect de l'invention.

[0017] La turbopompe 1 représentée comprend un ensemble fixe définissant un stator, et un ensemble mobile définissant un rotor.

Le rotor de la turbopompe 1 comprend par exemple un arbre d'entraînement 2, typiquement entraîné en rotation par une turbine, non représentée sur cette figure, ou tout autre organe d'entraînement en rotation approprié.

L'arbre d'entraînement 2 réalise l'entraînement en rotation du rotor de la turbopompe 1, et assure ainsi son fonctionnement.

L'ensemble fixe comprend par exemple un carter 3 de la turbopompe 1, ainsi que des paliers 4 permettant de monter l'arbre d'entraînement 2 tournant par rapport au carter 3.

[0018] Comme indiqué précédemment en référence à la figure 1, la turbopompe 1 présentent plusieurs régimes stables, à savoir :

- R1 : A l'arrêt,
- R2 : En attente, dans lequel la turbopompe est en fonctionnement mais sa vitesse de rotation et le couple appliqué sont minimisés,
- R3 : En régime nominal, à vitesse de rotation et couple élevés.

[0019] Ces régimes R1, R2 et R3 sont indiqués schématiquement sur la figure 1, en fonction de la poussée délivrée (axe horizontal X) et de la vitesse de rotation (axe vertical Y).

[0020] Les régimes R2 et R3, correspondant aux régimes stables de fonctionnement de la turbopompe sont disjoints, c'est-à-dire qu'une transition continue du régime R2 vers le régime R3 (ou inversement) n'est possible qu'en passant par un régime intermédiaire instable, et qu'un fonctionnement hors de ces deux régimes R2 ou R3 va tendre naturellement à ramener la turbopompe vers l'un ou l'autre de ces régimes stables.

[0021] La turbopompe 1 comprend de plus un générateur magnétique de couple 5, configuré de manière à sélectivement appliquer un couple sur l'arbre d'entraînement 2.

Le générateur magnétique de couple 5 comprend une partie fixe 51, par exemple des pôles magnétiques disposés sur le stator de la turbopompe 1, et une partie mobile 52 montée sur l'arbre d'entraînement 2, par exemple des pôles magnétiques ou des portions comprenant un matériau ferromagnétique.

[0022] Le générateur magnétique de couple 5 est associé à une commande 6, configurée de manière à piloter le couple appliqué par le générateur magnétique de couple 5 sur l'arbre d'entraînement 2. La commande 6 comprend typiquement un capteur de position de l'arbre d'entraînement 2, afin de piloter le couple appliqué par le générateur magnétique de couple 5 en fonction notamment de la position de l'arbre d'entraînement 2.

[0023] Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 2, le générateur magnétique de couple 5 est disposé entre deux paliers 4 de l'arbre d'entraînement 2.

Un tel positionnement n'est pas limitatif ; le générateur magnétique de couple 5 peut également être disposé à une extrémité de l'arbre d'entraînement 2, ou selon toute autre configuration adaptée. Les pôles magnétiques de la partie fixe 51 et de la partie mobile 52 peuvent par exemple être répartis selon plusieurs portions distinctes de l'arbre d'entraînement 2.

[0024] Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 2, le générateur magnétique de couple 5 est à flux radial. Un autre mode de réalisation non représenté est le générateur de couple à flux axial.

[0025] On distingue deux modes de fonctionnement du générateur magnétique de couple 5, selon la nature de ses parties fixe 51 et mobile 52.

[0026] Dans le cas où la partie fixe 51 et la partie mobile sont des pôles magnétiques, le générateur magnétique de couple 5 présente un fonctionnement similaire à celui d'une machine synchrone.

Dans le cas où la partie fixe 51 du générateur magnétique de couple 5 comprend des pôles magnétiques, alors que la partie mobile 52 du générateur magnétique de couple 5 comprend des portions comprenant un matériau ferromagnétique, le générateur magnétique de couple 5 présente un fonctionnement similaire à celui d'une machine asynchrone.

[0027] Quel que soit le mode de fonctionnement, le contrôle de la phase et de l'intensité du courant du générateur magnétique de couple 5 permet de contrôler le champ tournant généré, et ainsi de contrôler le couple produit par le générateur magnétique de couple 5 sur l'arbre d'entraînement 2.

Le couple ainsi produit par le générateur magnétique de couple 5 sur l'arbre d'entraînement 2 peut être piloté de manière fine, permettant ainsi une maîtrise du couple résultant sur l'arbre d'entraînement 2.

[0028] Le générateur magnétique de couple 5 permet ainsi de générer un couple sur l'arbre d'entraînement 2 de la turbopompe, et permet donc de modifier ses modes de fonctionnement.

[0029] Plus précisément, en fonction du champ tournant généré et du couple produit, ainsi que de la vitesse de rotation de l'arbre d'entraînement 2, le générateur magnétique de couple 5 produit un couple pouvant être un couple moteur ou un couple résistant sur l'arbre d'entraînement 2.

[0030] Ainsi, le générateur magnétique de couple 5 permet d'obtenir un régime stable additionnel de la turbopompe entre le régime nominal R3 et le régime d'attente R2 déjà décrits en référence à la figure 1.

[0031] On représente sur la figure 3 les modes de fonctionnement obtenus pour la turbopompe 1 au moyen d'un tel système, en indiquant la poussée selon l'horizontal X et la vitesse de rotation en tours par minute selon l'axe vertical Y.

[0032] Comme déjà décrit en référence à la figure 1, on représente sur la figure 3 plusieurs régimes stables, à savoir :

- R1 : A l'arrêt,
- R2 : En attente, dans lequel la turbopompe est en fonctionnement mais sa vitesse de rotation et le couple appliqué sont minimisés,
- R3 : En régime nominal, à vitesse de rotation et couple élevés.

[0033] On représente de plus sur la figure 3 un régime R4, intermédiaire entre le régime d'attente R2 et le régime nominal R3, et pouvant être obtenu grâce à l'action du générateur magnétique de couple 5.

[0034] Un tel régime R4 stable est obtenu en appliquant un couple moteur ou résistant sur l'arbre d'entraînement 2 de la turbopompe 1, lorsque cette dernière est en régime d'attente R2 ou en régime nominal R3.

[0035] Lorsque la turbopompe 1 est en régime d'attente R2, le générateur magnétique de couple 5 peut appliquer un couple moteur sur l'arbre d'entraînement 2, afin d'augmenter la vitesse de rotation et le couple résultant sur l'arbre d'entraînement 2 de la turbopompe 1, et donc réaliser une montée en régime de la turbopompe 1.

A l'inverse, lorsque la turbopompe 1 est en régime nominal R3, le générateur magnétique de couple 5 peut appliquer un couple résistant sur l'arbre d'entraînement 2, afin d'en diminuer la vitesse de rotation et le couple résultant sur l'arbre d'entraînement 2 de la turbopompe 1, et donc réaliser une baisse en régime de la turbopompe 1.

[0036] Ainsi, le générateur magnétique de couple 5 permet, via l'application d'un couple moteur ou résistant sur l'arbre d'entraînement 2, d'atteindre des points de fonctionnement stables entre le régime d'attente R2 et le régime nominal R3, en contrôlant le couple résultant sur l'arbre d'entraînement 2.

On obtient ainsi un domaine de stabilité additionnel pour la turbomachine, repéré par la région R4 sur la figure 3.

[0037] L'application d'un couple moteur ou résistant sur l'arbre d'entraînement 2 permet de plus d'améliorer la transition entre le régime nominal R3 et le régime d'attente R2, soit en amorçant la montée en régime pour passer du régime d'attente R2 au régime nominal R3 et également pour améliorer le démarrage de la turbopompe pour passer d'un état d'arrêt R1 au régime d'attente R2, soit en dissipant l'énergie apportée communément par la turbine et ainsi en réalisant une baisse du régime nominal R3 vers le régime d'attente R2.

[0038] Par ailleurs, le générateur magnétique de couple 5 permet de réaliser un entraînement de l'arbre d'entraînement à des vitesses de rotation très faibles et contrôlées, ce qui permet de réaliser une circulation d'ergols cryogéniques dans la turbopompe afin de réaliser sa mise en froid, c'est-à-dire son refroidissement graduel de la température ambiante aux températures cryogéniques de fonctionnement.

Une telle circulation maîtrisée d'ergols permet de réduire la consommation d'ergols par rapport aux procédés conventionnels de mise en froid.

[0039] En outre, le contrôle précis du couple au dé-

marrage permet de préciser la conception des séquences de démarrage de la turbopompe, notamment en s'affranchissant d'imprécisions dues notamment aux régimes à faible vitesse des turbopompes conventionnelles dont les propriétés ne sont pas connues de manière suffisamment précise dans les phases de conception.

[0040] Le générateur magnétique de couple 5 permet également de réaliser une fonction de maintien de l'arbre d'entraînement 2, en formant une butée axiale ou un palier pour l'arbre d'entraînement 2.

Pour ce faire, le générateur magnétique de couple 5 est configuré de manière à générer une force de répulsion entre le stator et le rotor, ou plus précisément entre la partie fixe 51 et la partie mobile 52 du générateur magnétique de couple 5. Un tel champ répulsif est typiquement réalisé en générant un flux stator opposé au flux rotor, par exemple en générant un champ tournant à une vitesse très élevée, ou en réalisant une configuration passive dans laquelle les pôles Nord/Sud du rotor sont en permanence en phase avec les pôles Sud/Nord (respectivement) du stator.

[0041] La force de répulsion ainsi générée permet d'éviter le contact entre l'arbre d'entraînement 2 et le stator, ce qui est avantageux à la fois en termes de rendement et d'usure.

[0042] On note par ailleurs que le générateur magnétique de couple 5 est un système réversible, et que la rotation de l'arbre d'entraînement 2 peut ainsi être exploitée afin de générer de l'électricité dès lors qu'un convertisseur électrique associé est également réversible, par exemple lorsque la turbopompe 1 est dans un régime stable tel que le régime nominal R3, pour lequel il n'est pas nécessaire d'appliquer un couple via le générateur magnétique de couple 5.

[0043] Les différentes fonctions réalisées grâce au générateur magnétique de couple 5 peuvent être regroupées. On peut par exemple en fonction du régime de la turbopompe 1, réaliser une fonction d'application de couple sur l'arbre d'entraînement 2 ou de récupération d'énergie afin de générer de l'électricité.

Revendications

1. Turbopompe (1) d'engin spatial comprenant

- un ensemble fixe définissant un stator de la turbopompe (1), et
- un ensemble mobile définissant un rotor de la turbopompe, comprenant un arbre d'entraînement (2),
- un générateur magnétique de couple (5) configuré de manière à sélectivement appliquer un couple sur l'arbre d'entraînement (2),

la turbopompe (1) présentant deux régimes stables de fonctionnement (R2, R3) disjoints, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre une

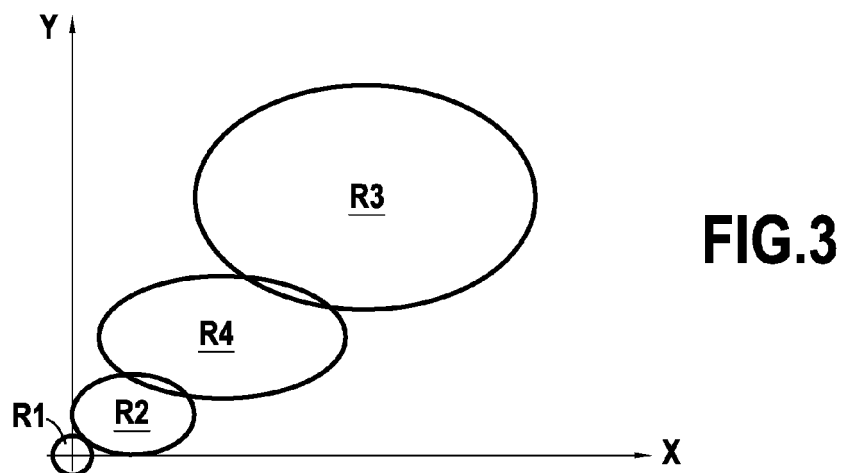
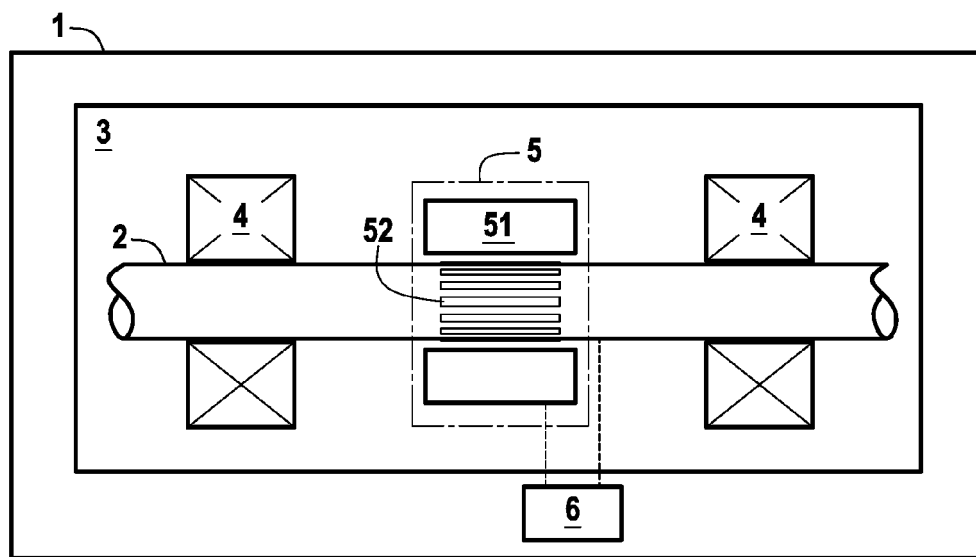
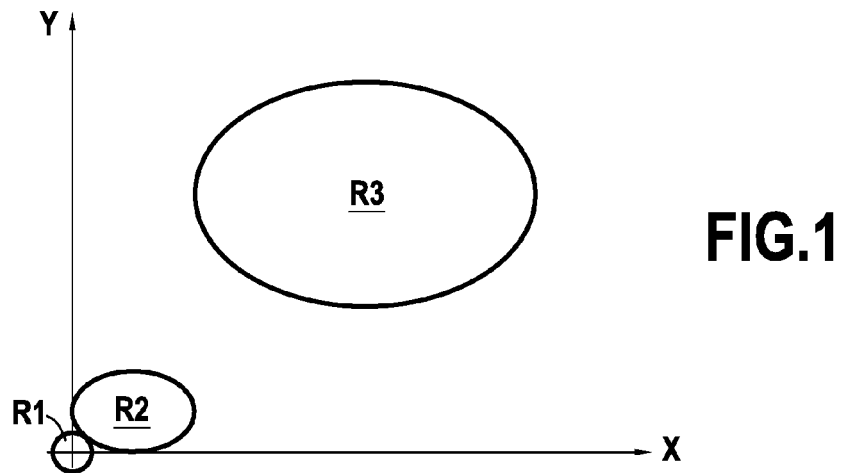
unité de commande (6), configurée de manière à piloter le générateur magnétique de couple (5) afin d'appliquer sélectivement un couple moteur ou résistant sur l'arbre d'entraînement (2) en fonction d'une commande appliquée, de manière à définir un régime intermédiaire stable (R3) entre lesdits deux régimes stables de fonctionnement (R2, R3) dis-

2. Turbopompe (1) selon la revendication 1, dans laquelle le générateur magnétique de couple (5) comprend des pôles magnétiques (51, 52) disposés sur le stator et sur le rotor de la turbopompe, de manière à former une machine synchrone. 10
3. Turbopompe (1) selon la revendication 1, dans laquelle le générateur magnétique de couple comprend des pôles magnétiques (51) disposés sur le stator, et un matériau ferromagnétique (52) disposé sur le rotor, adapté pour permettre la génération d'un champ induit, de manière à former une machine asynchrone. 15 20
4. Turbopompe (1) selon l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle le générateur magnétique de couple (5) est configuré de manière à générer un flux radial. 25
5. Turbopompe (1) selon l'une des revendications 1 à 4, dans laquelle le générateur magnétique de couple (5) est configuré de manière à générer un flux axial. 30
6. Turbopompe (1) selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle le générateur magnétique de couple (5) est configuré de manière à établir un champ magnétique de maintien de l'arbre d'entraînement, configuré de manière à former une butée limitant le déplacement axial de l'arbre d'entraînement (2). 35
7. Turbopompe (1) selon l'une des revendications 1 à 6, dans laquelle le générateur magnétique de couple (5) est configuré de manière à réaliser un maintien radial de l'arbre d'entraînement (2), et ainsi maintenir l'arbre d'entraînement (2) espacé du stator de la turbopompe (1). 40

45

50

55





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 16 16 7333

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	US 5 906 098 A (WOOLLENWEBER WILLIAM E [US] ET AL) 25 mai 1999 (1999-05-25) * figure 15 * * figures 1,3,7 *	1-7	INV. F04D13/04 F04D13/06 F04D15/00
A	FR 1 099 107 A (ALSTHOM CGEE) 30 août 1955 (1955-08-30) * figure 1 * * page 2, colonne 1, ligne 4 - colonne 2, ligne 5 *	1	
A	CA 2 394 819 A1 (SMITH DOUGLAS WILBERT PAUL [CA]) 9 février 2004 (2004-02-09) * figure 1 * * revendication 1 *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			F04D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		15 septembre 2016	Ingelbrecht, Peter
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)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 16 16 7333

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

15-09-2016

	Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
10	US 5906098 A	25-05-1999	AU 4810297 A	11-05-1998
			CN 1211300 A	17-03-1999
			CN 1423038 A	11-06-2003
15			CN 1506563 A	23-06-2004
			DE 69734819 T2	06-07-2006
			EP 0874953 A1	04-11-1998
			US 5906098 A	25-05-1999
			WO 9816728 A1	23-04-1998
20	-----			
	FR 1099107 A	30-08-1955	AUCUN	

	CA 2394819 A1	09-02-2004	AUCUN	

25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82