

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 701 113 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
13.09.2006 Bulletin 2006/37

(51) Int Cl.:
F25B 9/14 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: 06290168.1

(22) Date de dépôt: 27.01.2006

(84) Etats contractants désignés:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR

Etats d'extension désignés:

AL BA HR MK YU

(30) Priorité: 03.02.2005 FR 0501100

(71) Demandeur: Sagem Défense Sécurité
75015 Paris (FR)

(72) Inventeur: Ruocco-Angari, Bernard
75003 Paris (FR)

(74) Mandataire: Gorrée, Jean-Michel
Cabinet Plasseraud
65/67 rue de la Victoire
75440 Paris Cedex 09 (FR)

Remarques:

Revendications modifiées conformément à la règle
86 (2) CBE.

(54) Machine à froid fonctionnant suivant le cycle de stirling

(57) Machine à froid fonctionnant suivant le cycle de Stirling, comprenant : un compresseur avec un piston (6) de compression mobile dans un cylindre de compression ; un régénérateur avec un piston de régénération mobile dans un cylindre de régénération formant un angle par rapport au cylindre de compression ; un vilebrequin rotatif (11) d'entraînement ; une bielle (12) de compression accouplée au piston de compression et une bielle de régénération accouplée au piston de régénération, qui sont accouplées au vilebrequin avec un écart angulaire mutuel ; la bielle (12) de compression et/ou la bielle de régénération est agencée avec une longueur variable sur une rotation du vilebrequin (11) de manière que le mouvement du piston correspondant soit ralenti au passage du point mort haut et/ou bas.

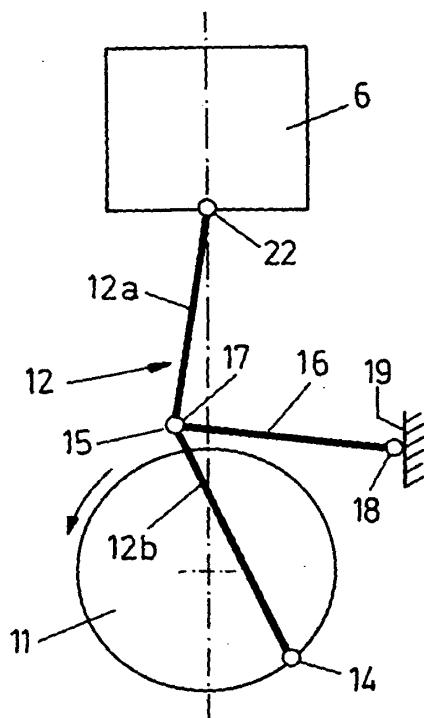


FIG.3A

Description

[0001] La présente invention concerne des perfectionnements apportés aux machines à froid fonctionnant suivant le cycle de Stirling et comprenant

- 5 - au moins un compresseur avec un piston de compression mobile dans un cylindre de compression,
- un régénérateur avec un piston de régénération mobile dans un cylindre de régénération disposé sous un angle donné par rapport au cylindre de compression,
- un vilebrequin rotatif d'entraînement, et
- 10 - deux bielles, respectivement une bielle de compression accouplée au piston de compression et une bielle de régénération accouplée au piston de régénération, qui sont accouplées au vilebrequin avec un écart angulaire mutuel.

[0002] On appellera que le cycle de Stirling comprend

- 15 - une compression isotherme à la température chaude T_c (de 1 à 2 sur la figure 1) obtenue par le déplacement d'un (ou plusieurs) piston de compression -également appelé(s) oscillateur(s)-,
- un refroidissement isochore de la température chaude T_c à la température froide T_f (de 2 à 3) réalisé par passage du gaz à travers un piston poreux appelé régénérateur -ou déplaceur- et jouant un rôle d'échangeur thermique,
- une détente isotherme à la température froide T_f (de 3 à 4) obtenue par retour du piston de compression, et
- 20 - un réchauffement isochore de la température froide T_f à la température chaude T_c (de 4 à 1) réalisé par retour du régénérateur.

[0003] La figure 1 donne la représentation des isothermes dans le plan pression (en ordonnées)/volume (en abscisses) : en régime permanent, le cycle de Stirling est représenté par le quadrilatère trapézoïdal curviligne A de sommets 1, 2, 3, 4 compris entre les isothermes T_c et T_f (diagramme de Clapeyron) ; l'aire W représente le travail à fournir au gaz pour décrire le cycle et l'aire Q_f représente l'énergie frigorifique fournie à la source froide.

[0004] Pour décrire le cycle de Stirling, il ne faut déplacer chaque piston -piston de compression ou piston de régénération- que lorsque l'autre est stabilisé à son point mort haut (PMH) ou bas (PMB). Si cette condition n'est pas réalisée, les portions anguleuses du cycle de Stirling (points 1 à 4 du diagramme de Clapeyron) ne sont pas atteintes et la représentation du cycle prend une forme curviligne comme montré en B à la figure 1.

[0005] Les machines à froid fonctionnant selon le cycle de Stirling se répartissent en deux catégories : les machines intégrales et les machines dites « splittées ». Aucune ne réalise exactement le cycle théorique de Stirling (cycle A).

[0006] A la figure 2 est représenté très schématiquement une machine à froid du type intégral fonctionnant selon le cycle de Stirling. Cette machine comprend :

- 35 - au moins un compresseur 5 avec un piston 6 de compression mobile dans un cylindre 7 de compression,
- un régénérateur 8 avec un piston 9 de régénération mobile dans un cylindre 10 de régénération disposé sous un angle donné par rapport au cylindre 7 de compression, et notamment sensiblement perpendiculairement à ce dernier comme illustré,
- un vilebrequin 11 rotatif d'entraînement, et
- 40 - deux bielles, respectivement une bielle 12 de compression accouplée à rotation au piston 6 de compression et une bielle 13 de régénération accouplée à rotation au piston 9 de régénération, lesquelles bielles 12, 13 sont accouplées à rotation au même emplacement 14 du vilebrequin 11 avec un écart angulaire mutuel, notamment d'environ 90°.

45 [0007] Dans les machines intégrales, le piston 6 de compression et le piston 9 de régénération sont entraînés par un même moteur via un double système bielle-manivelle (vilebrequin 11 et bielles 12, 13 accouplés en 14). Les deux pistons 6, 9 ont des mouvements respectifs qui sont rectilignes alternatifs quasi sinusoïdaux. Le déphasage entre les deux pistons 6, 9 est constant et dépend du point d'ancrage des deux bielles sur l'embielage. Ce déphasage est généralement de 90 degrés. La puissance frigorifique est réglée par ajustement de la vitesse de rotation du moteur, donc du nombre de cycles thermodynamiques réalisés par unité de temps.

[0008] Sur la figure 2, on a désigné avec les mêmes références 1 à 4 les positions angulaires du vilebrequin 11 en correspondance avec les sommets 1 à 4 du cycle de Stirling de la figure 1.

[0009] En pratique, par rapport au cycle théorique de Stirling, la différence essentielle réside dans le fait que les transitions de chaque piston commencent avant que l'autre piston soit en fin de course. Comme montré sur le diagramme de la figure 2, la conséquence en est que la représentation du cycle B réel dans le plan P-V s'arrondit et que les points sommitaux 1 à 4 du cycle théorique A ne sont plus atteints.

[0010] Par rapport au cycle théorique de Stirling, l'énergie frigorifique et le travail à fournir sont très inférieurs (d'un facteur 2 ou plus), le coefficient de performance (ratio des deux termes) restant identique. Cela revient à dire que coupler

les deux pistons 6, 9 par un emballage 12, 13 conduit à réaliser une machine à froid moins puissante. Pour obtenir une puissance cryogénique égale à celle du cycle théorique de Stirling, il faut donc augmenter la masse de gaz déplacé en un temps donné :

- 5 - en faisant tourner la machine plus vite (pour réaliser plus de cycles par unité de temps), et/ou
 - en augmentant la cylindrée et/ou la pression de remplissage (pour augmenter la masse de gaz par cycle).

[0011] Ces solutions ont un impact négatif sur la fiabilité, le bruit acoustique, la masse, l'encombrement de la machine.

[0012] Dans les machines « splittées » (non représentées), seul le piston de compression est commandé :

- 10 - par un moteur via un emballage dans les machines rotatives,
 - par un moteur linéaire activant un système masse-ressort résonant dans les machines linéaires.

[0013] Dans les deux cas, le mouvement du (ou des) piston de compression est sinusoïdal ou quasi sinusoïdal.

15 [0014] La puissance cryogénique est adaptée à la demande par réglage de la vitesse de rotation du moteur dans le premier cas, et par réglage de l'amplitude d'oscillation dans le second cas. Le piston régénérateur n'est pas entraîné par un moteur ou un activateur, mais par l'onde de pression issue du compresseur et transmise via une canalisation (ou ligne de transfert). Le déphasage est obtenu par la combinaison des forces agissant sur le régénérateur (frottements, effets de l'onde de pression, d'un ressort de rappel, d'une référence de pression,...). Le mouvement du régénérateur est périodique (pas nécessairement sinusoïdal) à la fréquence de l'onde de pression. Le déphasage est plus ou moins variable en fonction de la température ambiante, de l'usure,....

20 [0015] En définitive, les machines à froid existantes fonctionnant selon le cycle de Stirling ne permettent pas de décrire le cycle de Stirling idéal du fait du mode de couplage entre compresseur et régénérateur (sans parler des écarts vis-à-vis du cycle théorique qui sont dus à d'autres causes). La puissance cryogénique s'en trouve fortement diminuée.

25 [0016] L'invention a donc pour but de proposer une solution technique perfectionnée visant à optimiser le déplacement des pistons pour tendre au mieux vers le cycle de Stirling, c'est-à-dire à ralentir (idéalement à arrêter) le mouvement périodique des pistons au voisinage des deux points morts haut et bas, sans cependant qu'il en résulte une complication excessive tant au niveau de la structure qu'au niveau de la fabrication.

30 [0017] A ces fins, l'invention propose une machine à froid telle que mentionnée au préambule qui se caractérise, étant agencée conformément à l'invention, en ce qu'au moins l'un du piston de compression ou du piston de régénération est agencé avec une longueur variable au cours d'une rotation du vilebrequin de manière que le mouvement dudit piston soit au moins ralenti aux passages des points morts haut et bas.

[0018] Grâce à cette disposition, le cycle de fonctionnement de la machine se rapproche mieux du cycle théorique de Stirling que celui des machines à froid à bielle(s) rigide(s) réalisées jusqu'à présent.

35 [0019] Dans un mode de réalisation préféré des dispositions fondamentales de l'invention, on prévoit que la bielle à longueur variable, dite ci-après bielle principale, est formée d'au moins deux tronçons de bielle articulés l'un à l'autre et qu'au moins une bielle auxiliaire possède une première extrémité accouplée à rotation à la bielle principale et une seconde extrémité accouplée à rotation sur un élément de structure de la machine.

40 [0020] Dans ce contexte, on peut faire en sorte que la première extrémité de la bielle auxiliaire soit accouplée à rotation à l'articulation joignant les deux tronçons de bielle principale, ou bien aussi que la première extrémité de la bielle auxiliaire soit accouplée à rotation à l'un des tronçons de la bielle principale, notamment à celui des tronçons de la bielle principale qui est solidaire du piston.

[0021] Sous réserve d'une complication structurelle accrue, il est possible de faire en sorte que le nombre n de tronçons de bielle articulés les uns aux autres soit supérieur à deux, le nombre des bielles auxiliaires étant alors égal à $n-1$.

45 [0022] Pour ce qui est de la seconde extrémité de la bielle auxiliaire, on peut prévoir qu'elle soit accouplée à rotation à un élément fixe de la structure de la machine : bien que ce mode de réalisation soit structurellement simple, il conduit à un résultat intéressant quant à l'amélioration du cycle de fonctionnement de la machine, avec un rapprochement sensible du cycle théorique de Stirling. Mais, si une complexité structurelle et fonctionnelle plus importante est acceptée, on peut envisager un autre mode de réalisation consistant en ce que la seconde extrémité de la bielle auxiliaire soit accouplée à rotation à un élément mobile de la structure de la machine et en ce que des moyens de commande contrôlent le mouvement de l'élément mobile de la structure.

50 [0023] Les dispositions conformes à l'invention offrent l'avantage d'une possibilité de mise en oeuvre quel que soit le type de la machine à froid : si la machine à froid est du type intégral, ce peut être les bielles respectives des pistons de compression et de régénération qui sont agencées avec des longueurs respectives variables, ou bien, par souci d'économie et/ou de simplification, ce peut être seulement l'une de ces bielles, notamment la bielle de régénération car les efforts qui s'appliquent sur le piston de régénération sont beaucoup plus faibles que ceux s'appliquant sur le piston de compression ; si la machine à froid est du type « splitté », c'est la bielle de compression qui est agencée avec une longueur variable.

[0024] Avec un régénérateur incorporant une bielle modifiée conformément à l'invention pour ralentir le mouvement au voisinage du point mort haut (PMH), le gaz est refroidi par le régénérateur plus tard que dans une machine d'agencement classique (c'est-à-dire presque à la fin de la compression). De même, si le mouvement du piston de régénération est ralenti au point mort bas (PMB) grâce à la mise en oeuvre d'une bielle modifiée conformément à l'invention, le gaz est ramené à la température chaude plus tard, presqu'à la fin de la détente. Ainsi, en combinant les deux effets, le cycle de fonctionnement se rapproche des points sommitaux 2 et 4 du cycle théorique de Stirling.

[0025] De même, la mise en oeuvre des dispositions de l'invention sur la bielle du piston de compression peut permettre de modifier le cycle de fonctionnement en l'étirant vers les points sommitaux 1 et 3 du cycle théorique de Stirling.

[0026] L'avantage principal procuré par la mise en oeuvre des moyens conformes à l'invention est l'obtention d'un cycle plus proche du cycle idéal (cycle de Stirling), et donc l'augmentation de la puissance cryogénique de la machine à froid pour un encombrement identique.

[0027] A puissance cryogénique identique, une machine à froid équipée conformément à l'invention peut tourner moins vite, ce qui améliore indirectement le rendement thermodynamique du fait de la diminution de certaines pertes, comme les pertes par effet "appendix" ou les pertes par frottement fluide. En outre, une vitesse de rotation plus faible va dans le sens de l'amélioration de la fiabilité.

[0028] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui suit de certains modes de réalisation préférés donnés uniquement à titre d'exemples non limitatifs. Dans cette description, on se réfère aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est un diagramme volume (en abscisses)/pression (en ordonnées) donnant la représentation du cycle théorique de Stirling et du cycle d'une machine à froid classique,
- la figure 2 est une représentation très schématique d'une machine à froid classique du type intégral fonctionnant selon le cycle de Stirling,
- les figures 3A à 3D sont des vues très schématiques de respectivement plusieurs variantes de réalisation de l'agencement proposé par l'invention,
- les figures 4A et 4B sont des représentations de respectivement deux exemples de réalisation de machine à froid de type intégral agencées conformément à l'invention,
- la figure 5 est un schéma développé montrant les mouvements du piston et des bielles sur un tour de rotation du vilebrequin dans la configuration de montage simple de la figure 3A, et
- la figure 6 est un diagramme analogue à celui de la figure 1 faisant apparaître en outre le cycle de fonctionnement d'une machine à froid agencée conformément à l'invention.

[0029] Conformément à l'invention, on prévoit que la bielle ou que l'une au moins des bielles de la machine à froid soit agencée avec une longueur variable au cours d'une rotation du vilebrequin de manière que le mouvement du piston correspondant soit au moins ralenti, voire arrêté, au passage du point mort haut et/ou bas, de préférence aux deux, de manière que le cycle de fonctionnement de la machine se rapproche mieux du cycle théorique de Stirling que celui des machines à froid à bielle rigide réalisées jusqu'à présent.

[0030] Diverses solutions techniques peuvent être envisagées à cet effet.

[0031] La solution qui paraît être la mieux appropriée pour aboutir à un compromis satisfaisant en terme de simplicité structurelle et en terme de qualité du résultat obtenu consiste, comme illustré aux figures 3A à 3D, en ce que la bielle à longueur variable (on supposera à titre d'exemple dans ce qui suit qu'il s'agit de la bielle de compression 12), que l'on désignera dans ce qui suit par le terme de bielle principale, soit formée d'au moins deux tronçons de bielle 12a, 12b articulés l'un à l'autre en 15 et en ce qu'au moins une bielle auxiliaire 16 possède une première extrémité accouplée à rotation en 17 à la bielle principale 12 et une seconde extrémité accouplée à rotation en 18 sur un élément de structure 19 de la machine. Les caractéristiques de l'agencement - notamment longueurs des tronçons de bielle 12a, 12b, emplacements des articulations 15 et 17, longueur de la bielle auxiliaire 16, agencements de l'articulation 18 et de l'élément de structure 19 de la machine - sont déterminés en fonction du résultat souhaité.

[0032] Diverses variantes de réalisations pratiques peuvent être envisagées.

[0033] La variante de réalisation illustrée à la figure 3A est la plus simple du point de vue structurel. L'articulation 15 réunissant les deux tronçons 12a, 12b de bielle et l'articulation 17 réunissant la bielle auxiliaire 16 à la bielle principale 12 sont confondues.

[0034] Dans la variante de réalisation montrée à la figure 3B, les deux articulations 15 et 17 sont distinctes et l'articulation 17 est reportée sur l'un des tronçons de bielle, par exemple sur le tronçon de bielle 12a accouplé au piston comme illustré à la figure 3B. La position de l'articulation 17 sur le tronçon de bielle est choisie de manière à définir le bras de levier approprié pour obtenir le mouvement souhaité du piston 6.

[0035] Bien entendu, si besoin en est, la bielle principale 12 peut être constituée d'un plus grand nombre de tronçons. La variante de réalisation de la figure 3C met en oeuvre une bielle principale décomposée en trois tronçons de bielle 12a, 12b, 12c réunis par des articulations 15a, 15b ; deux bielles auxiliaires 16a, 16b sont interposées respectivement

entre les articulations 15a, 15b et un élément de structure 19 de la machine ; les deux bielles auxiliaires 16a, 16b peuvent être réunies à l'élément de structure 19 par une articulation 18 commune ou bien par deux articulations respectives 18a, 18b distinctes comme illustré à la figure 3C.

[0036] Pour ce qui est de l'élément de structure 19 de la machine sur lequel est articulée la bielle auxiliaire 16, il peut s'agir, de façon simple, d'un élément fixe de la structure de la machine, comme cela est illustré aux figures 3A, 3B et 3C. Toutefois, on peut également envisager que l'articulation 18 soit portée par un élément de structure qui soit déplaçable de façon contrôlée de manière que l'articulation 17 soit animée d'une composante de mouvement additionnelle permettant de commander de façon plus fine le mouvement du piston 6. Comme montré à la figure 3D (sur laquelle on a repris la variante la plus simple de la figure 3A), l'élément de structure 19 peut être animé, sous l'action de moyens de commande (non montrés) d'un mouvement sensiblement linéaire (flèche 20), ou bien curviligne, notamment sensiblement en arc de cercle ou circulaire (flèche 21), ou bien selon toute trajectoire appropriée. Dans le cas où plusieurs bielles auxiliaires sont mises en oeuvre, on peut envisager, pour ce qui est de l'élément de structure 19, non seulement les dispositions évoquées ci-dessus (éléments fixes ou déplaçables), mais aussi une combinaison de ces dispositions (éléments de structure fixes pour certaines bielles auxiliaires et déplaçables pour d'autres).

[0037] Pour fixer les idées, on a représenté de façon très schématisée, à la figure 5, le déplacement du piston dans la configuration structurelle la plus simple de l'agencement de la figure 3A. Sur cette figure, seule est représentée l'articulation 22 du tronçon de bielle 12a avec le piston 6, tandis que le piston lui-même n'est pas montré par souci de clarté de lecture du dessin. On constate clairement que l'articulation 22 est animée d'un mouvement (décomposé sur la trajectoire 23) qui, sur un tour de rotation du vilebrequin 11, n'est plus symétrique ni sinusoïdal, mais qui devient asymétrique entre montée et descente et qui est aplati (ralentissement du piston) vers les points morts haut et bas et plus abrupt (accélération du piston) dans les transitions entre les points morts haut et bas.

[0038] Les dispositions conformes à l'invention se révèlent d'autant plus intéressantes qu'elles peuvent trouver application dans les deux types de machines à froid fonctionnant selon le cycle de Stirling.

[0039] Dans les machines du type intégral, les bielles 12 et 13 respectivement des deux pistons de compression 6 et de régénération 9 peuvent être agencées avec des longueurs respectives variables comme illustré à la figure 4A. Pour le compresseur 5, on peut reprendre par exemple l'agencement de la figure 3A, avec la bielle 12 formée de deux tronçons 12a, 12b et avec la bielle auxiliaire 16. Pour le régénérateur 8, on peut prendre un agencement analogue, avec la bielle 13 formée de deux tronçons 13a, 13b et avec une bielle auxiliaire 24.

[0040] Toutefois si l'agencement conformément à l'invention des deux bielles de compression 12 et de régénération 13 est jugé trop complexe et/ou trop coûteux, seule l'une de ces bielles pourra être équipée selon l'invention. De préférence dans ce cas, il est plus avantageux que ce soit la bielle de régénération 13 qui soit agencée avec une longueur variable comme montré à la figure 4B, eu égard au fait que les efforts s'appliquant sur le piston de régénération sont plus faibles que ceux s'appliquant sur le piston de compression.

[0041] Dans les machines du type « splitté », c'est la bielle du piston de compression qui est agencée avec une longueur variable.

[0042] En définitive, la mise en oeuvre des dispositions conformes à l'invention permet de modifier le cycle de fonctionnement de la machine à froid et, par comparaison avec le cycle B d'une machine classique, de rapprocher ce cycle du cycle théorique de Stirling A dans au moins certaines des régions des points sommitaux 1, 2, 3, 4. Le diagramme de la figure 6 est analogue à celui de la figure 1 et montre à nouveau le cycle théorique de Stirling en A et le cycle B d'une machine classique en tirets, tandis qu'on a ajouté en trait plein le cycle C d'une machine à froid modifiée selon l'invention de manière à améliorer le cycle dans les régions des deux points sommitaux 2 et 4 par ralentissement du mouvement du piston de régénération au voisinage des points morts haut et bas. L'équipement du piston de compression selon l'invention permettrait de la même manière d'améliorer le cycle dans les régions des deux points sommitaux 1 et 3.

45

Revendications

1. Machine à froid fonctionnant suivant le cycle de Stirling et comprenant

- 50 - au moins un compresseur (5) avec un piston (6) de compression mobile dans un cylindre (7) de compression,
 - un régénérateur (8) avec un piston (9) de régénération mobile dans un cylindre (10) de régénération disposé sous un angle donné par rapport au cylindre (7) de compression,
 - un vilebrequin rotatif (11) d'entraînement, et
 - deux bielles, respectivement une bielle (12) de compression accouplée au piston (6) de compression et une bielle (13) de régénération accouplée au piston (8) de régénération, qui sont accouplées au vilebrequin (11) avec un écart angulaire mutuel,

55 caractérisée en ce qu'au moins l'une de la bielle (12) de compression ou de la bielle (13) de régénération est

agencée avec une longueur variable au cours d'une rotation du vilebrequin (11) de manière que le mouvement du piston correspondant soit au moins ralenti au passage du point mort haut et/ou bas, ce grâce à quoi le cycle de fonctionnement de la machine se rapproche mieux du cycle théorique de Stirling que celui des machines à froid à bielle rigide réalisées jusqu'à présent.

- 5
2. Machine à froid selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la bielle (12; 13) à longueur variable, ou bielle principale, est formée d'au moins deux tronçons de bielle (12a, 12b; 13a, 13b) articulés l'un à l'autre et **en ce qu'au moins** une bielle auxiliaire (16, 16a, 16b; 24) possède une première extrémité accouplée à rotation (17) à la bielle principale et une seconde extrémité accouplée à rotation (18) sur un élément de structure (19) de la machine.

10

 3. Machine à froid selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** la première extrémité de la bielle auxiliaire (16) est accouplée à rotation (17) à l'articulation (15) joignant les deux tronçons (12a, 12b) de bielle principale.

15

 4. Machine à froid selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** la première extrémité de la bielle auxiliaire (16) est accouplée à rotation (17) à l'un des tronçons (12a, 12b) de la bielle principale.
 5. Machine à froid selon la revendication 4, **caractérisée en ce que** la première extrémité de la bielle auxiliaire est accouplée à rotation (17) à celui (12a) des tronçons de la bielle principale qui est solidaire du piston (6).

20

 6. Machine à froid selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, **caractérisée en ce que** la seconde extrémité de la bielle auxiliaire est accouplée à rotation (18) à un élément (19) fixe de la structure de la machine.

25

 7. Machine à froid selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, **caractérisée en ce que** la seconde extrémité de la bielle auxiliaire est accouplée à rotation (18) à un élément (19) mobile de la structure de la machine et **en ce que** des moyens de commande contrôlent le mouvement de l'élément (19) mobile de la structure.
 8. Machine à froid selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisée en ce que**, la machine étant du type intégral, les bielles (12, 13) des deux pistons de compression (6) et de régénération (9) sont agencées avec des longueurs respectives variables.

30

 9. Machine à froid selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisée en ce que**, la machine étant du type intégral, seule la bielle (13) du piston de régénération (9) est agencée avec une longueur variable.

35

 10. Machine à froid selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisée en ce que**, la machine étant du type « splitté », c'est la bielle (12) du piston de compression qui est agencée avec une longueur variable.

Revendications modifiées conformément à la règle 86(2) CBE.

- 40
1. Machine à froid fonctionnant suivant le cycle de Stirling et comprenant
 - au moins un compresseur (5) avec un piston (6) de compression mobile dans un cylindre (7) de compression,
 - un régénérateur (8) avec un piston (9) de régénération mobile dans un cylindre (10) de régénération disposé sous un angle donné par rapport au cylindre (7) de compression,
 - un vilebrequin rotatif (11) d'entraînement, et
 - deux bielles, respectivement une bielle (12) de compression accouplée au piston (6) de compression et une bielle (13) de régénération accouplée au piston (8) de régénération, qui sont accouplées au vilebrequin (11) avec un écart angulaire mutuel,

45

 - 50
 - 55
- caractérisée en ce qu'au moins** une bielle, ou bielle principale, prise parmi la bielle (12) de compression ou la bielle (13) de régénération, est formée d'au moins deux tronçons de bielle (12a, 12b ; 13a, 13b) articulés l'un à l'autre de manière à présenter une longueur variable au cours d'une rotation du vilebrequin (11) et **en ce qu'au moins** une bielle auxiliaire (16, 16a, 16b ; 24) possède une première extrémité accouplée à rotation (17) à la bielle principale et une seconde extrémité accouplée à rotation (18) sur un élément de structure (19) de la machine, ce grâce à quoi le mouvement du piston correspondant est au moins ralenti au passage du point mort haut et/ou bas et le cycle de fonctionnement de la machine se rapproche mieux du cycle théorique de Stirling que celui des machines à froid à bielle rigide réalisées jusqu'à présent.

2. Machine à froid selon la revendication 1,
caractérisée en ce que la première extrémité de la bielle auxiliaire (16) est accouplée à rotation (17) à l'articulation (15) joignant les deux tronçons (12a, 12b) de bielle principale.

5 3. Machine à froid selon la revendication 1,
caractérisée en ce que la première extrémité de la bielle auxiliaire (16) est accouplée à rotation (17) à l'un des tronçons (12a, 12b) de la bielle principale.

10 4. Machine à froid selon la revendication 3,
caractérisée en ce que la première extrémité de la bielle auxiliaire est accouplée à rotation (17) à celui (12a) des tronçons de la bielle principale qui est solidaire du piston (6).

15 5. Machine à froid selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisée en ce que** la seconde extrémité de la bielle auxiliaire est accouplée à rotation (18) à un élément (19) fixe de la structure de la machine.

6. Machine à froid selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisée en ce que** la seconde extrémité de la bielle auxiliaire est accouplée à rotation (18) à un élément (19) mobile de la structure de la machine et **en ce que** des moyens de commande contrôlent le mouvement de l'élément (19) mobile de la structure.

20 7. Machine à froid selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisée en ce que**, la machine étant du type intégral, les bielles (12, 13) des deux pistons de compression (6) et de régénération (9) sont agencées avec des longueurs respectives variables.

25 8. Machine à froid selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisée en ce que**, la machine étant du type intégral, seule la bielle (13) du piston de régénération (9) est agencée avec une longueur variable.

9. Machine à froid selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisée en ce que**, la machine étant du type « splitté », c'est la bielle (12) du piston de compression qui est agencée avec une longueur variable.

30

35

40

45

50

55

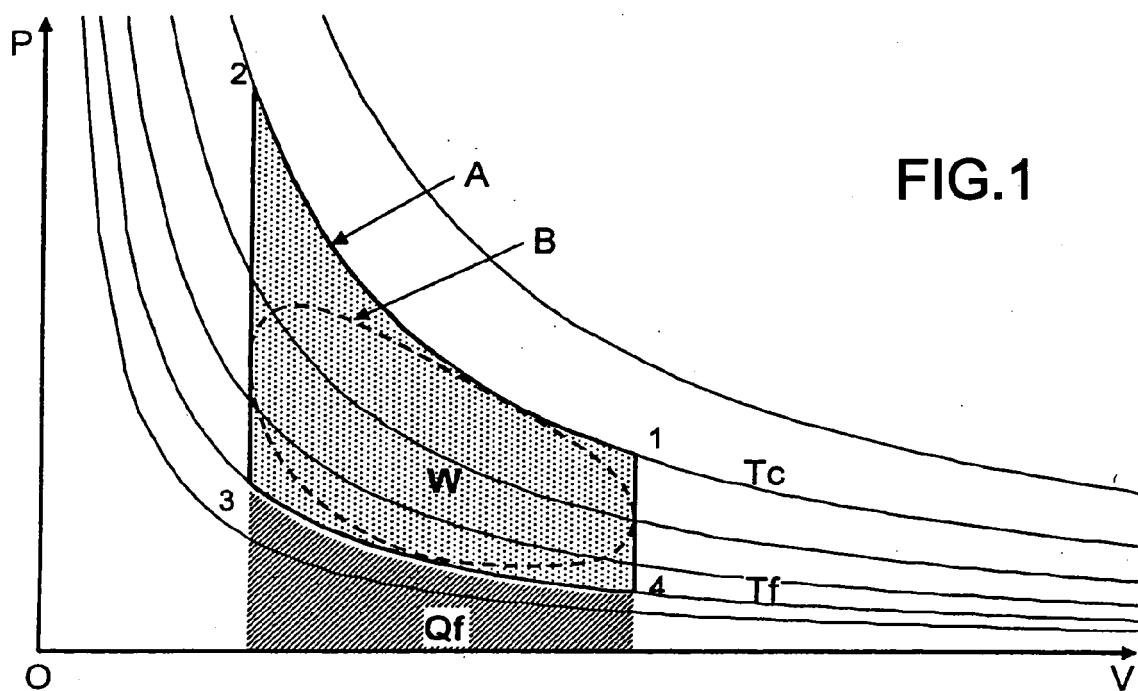


FIG.1

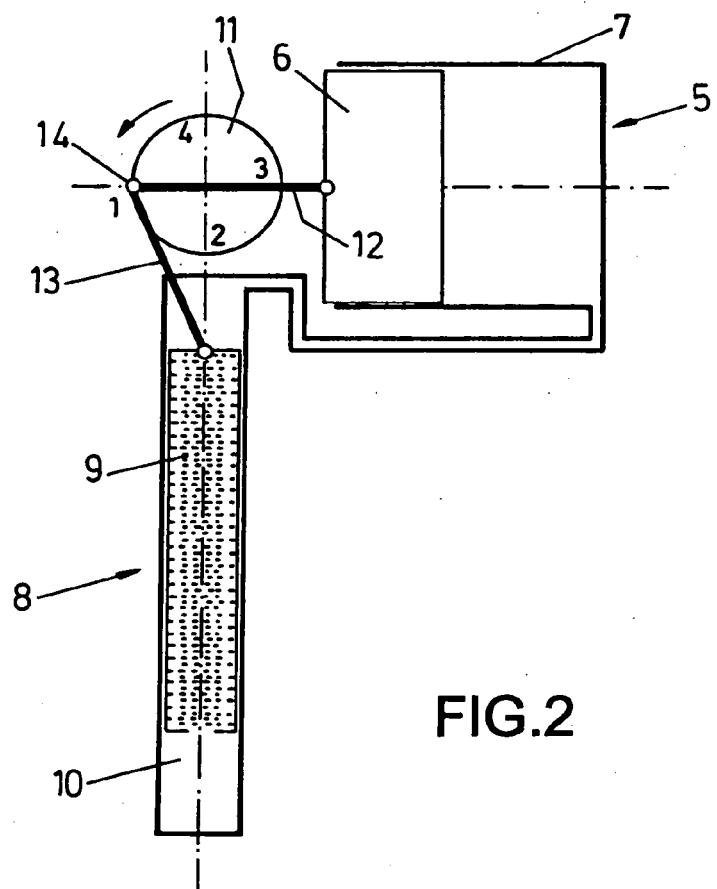


FIG.2

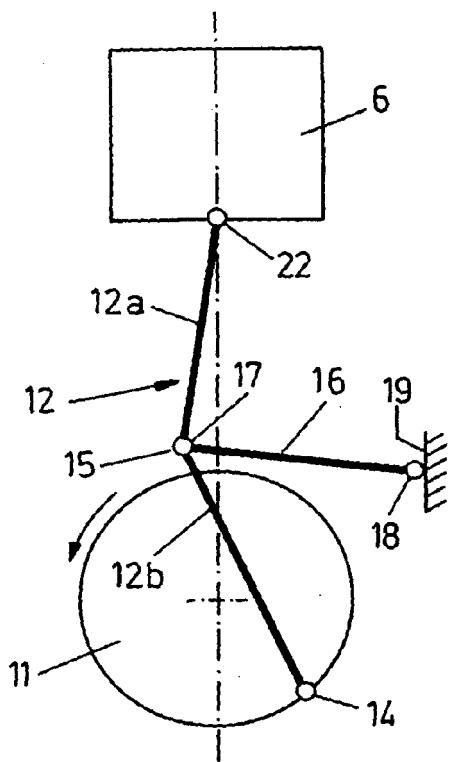


FIG.3A

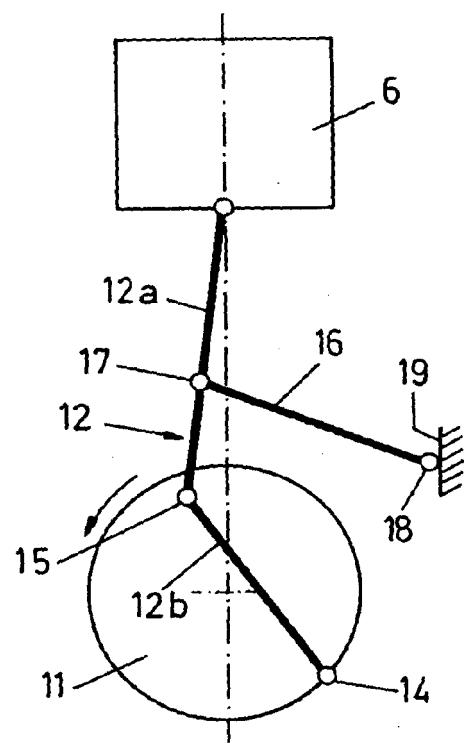


FIG.3B

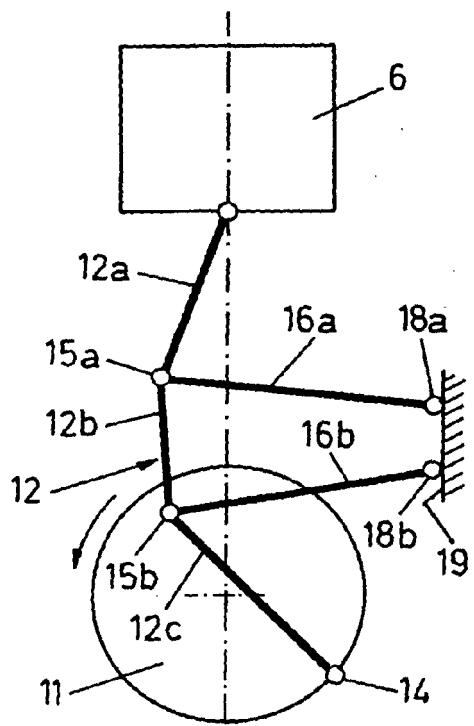


FIG.3C

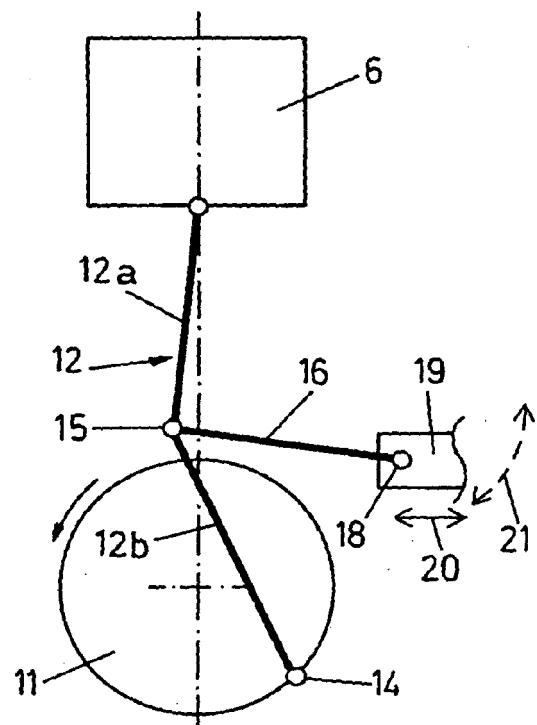


FIG.3D

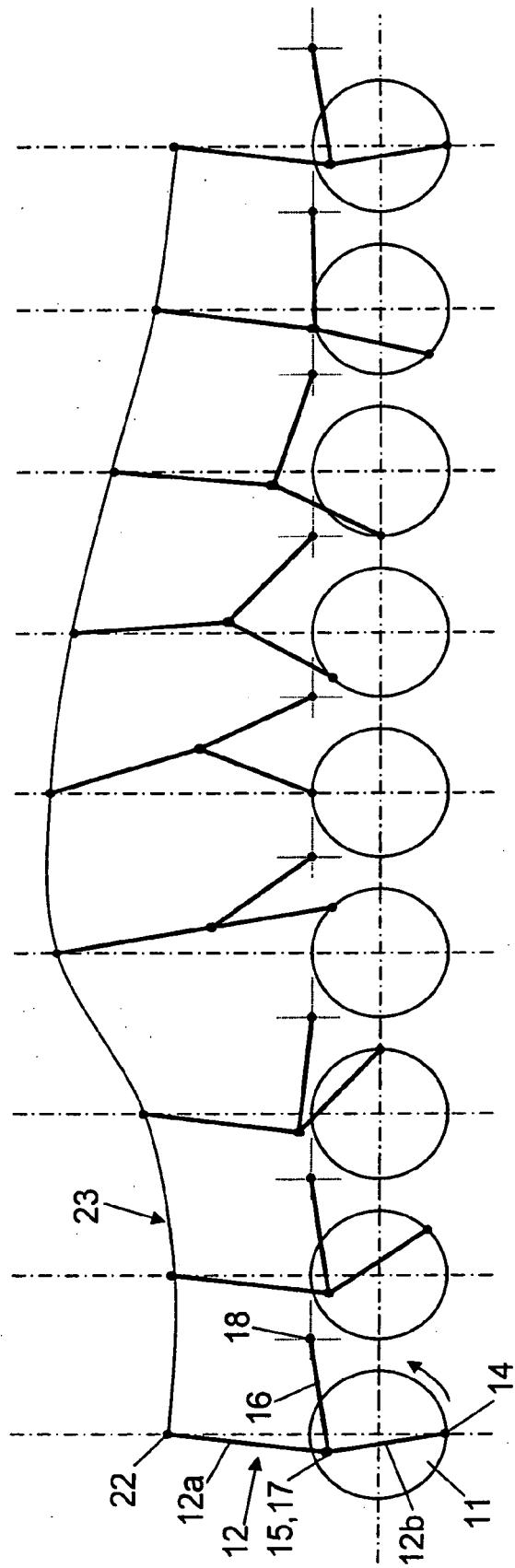
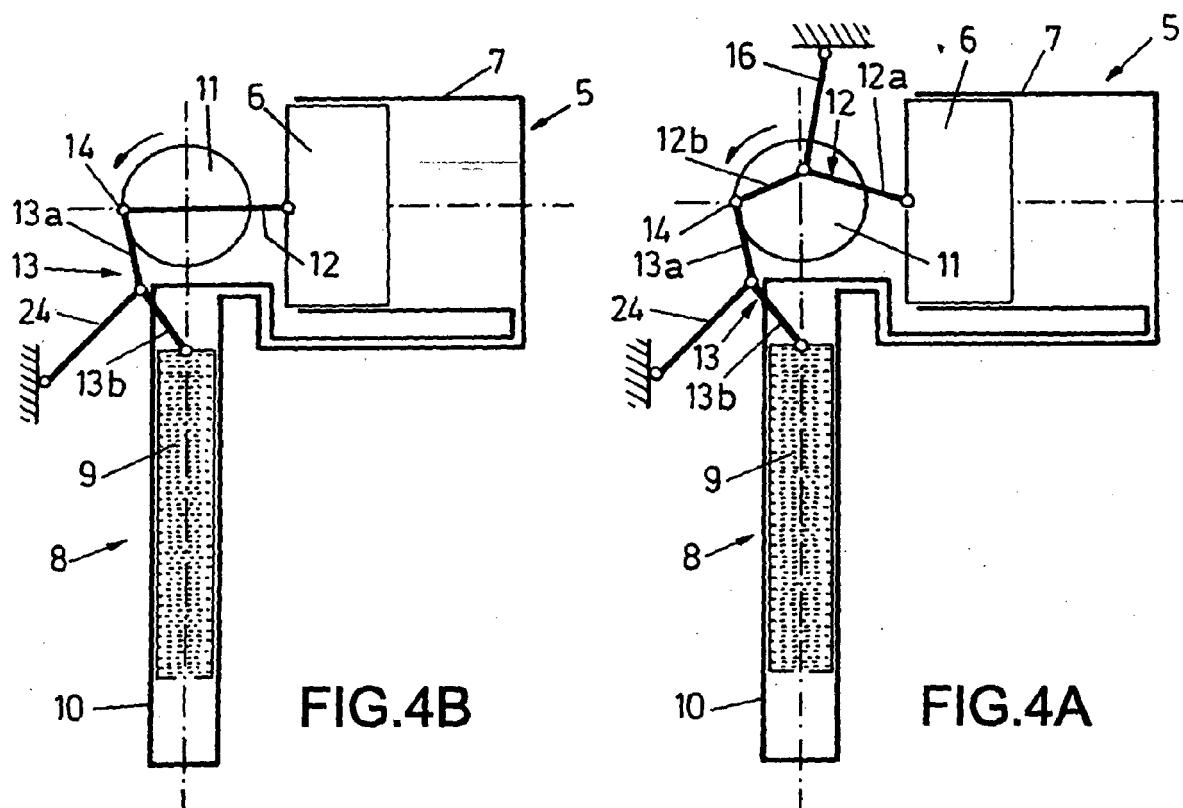
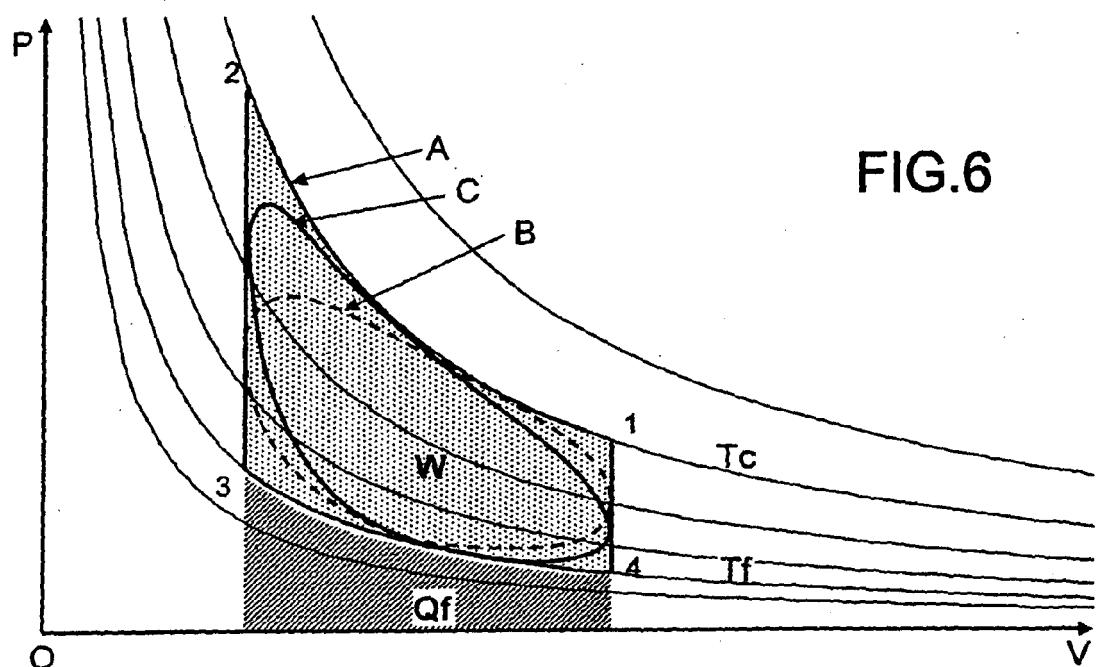


FIG.5





DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 05, 30 avril 1998 (1998-04-30) -& JP 10 019406 A (SANYO ELECTRIC CO LTD), 23 janvier 1998 (1998-01-23)	1	F25B9/14
A	* abrégé; figures 2,3 *	2-10	
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1996, no. 12, 26 décembre 1996 (1996-12-26) -& JP 08 219569 A (ISSHIKI NAOJI; KUBOTA CORP), 30 août 1996 (1996-08-30)	1	
A	* abrégé; figure 4 *	2-10	
X	BE 1 011 918 A3 (COMPAGNIE BELGE DE CONSTRUCTION ET D'ENGINEERING S.A) 7 mars 2000 (2000-03-07)	1	
A	* le document en entier *	2-10	
X	FR 2 084 109 A (KNOOS STELLAN) 17 décembre 1971 (1971-12-17)	1	
A	* figure 11 *	2-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
A	US 4 206 609 A (DURENEC, PETER) 10 juin 1980 (1980-06-10) * le document en entier *	1-10	F25B
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1999, no. 08, 30 juin 1999 (1999-06-30) -& JP 11 063704 A (SANYO ELECTRIC CO LTD), 5 mars 1999 (1999-03-05) * abrégé; figure 1 *	1-10	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
1	Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
	Munich	13 mars 2006	Ritter, C
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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	
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			

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

EP 06 29 0168

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.

13-03-2006

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
JP 10019406	A	23-01-1998	AUCUN		
JP 08219569	A	30-08-1996	JP	3263269 B2	04-03-2002
BE 1011918	A3	07-03-2000	AUCUN		
FR 2084109	A	17-12-1971	BE CA CH NL SE SU	763661 A1 928974 A1 531645 A 7102709 A 341705 B 422170 A3	02-08-1971 26-06-1973 15-12-1972 06-09-1971 10-01-1972 30-03-1974
US 4206609	A	10-06-1980	AUCUN		
JP 11063704	A	05-03-1999	AUCUN		

EPOFORM P0460

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