

⑫

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

⑳ Numéro de dépôt: **78400133.1**

⑤① Int. Cl.²: **F 01 K 11/04**

F 25 B 3/00, F 28 D 11/04

㉔ Date de dépôt: **11.10.78**

③① Priorité: **20.10.77 FR 7731551**

④③ Date de publication de la demande:
02.05.79 Bulletin 79/9

⑧④ Etats contractants désignés:
BE CH DE FR GB LU NL SE

⑦① Demandeur: **Bailly du Bois, Bernard**
58 rue de Maubeuge
F-75009 PARIS(FR)

⑦② Inventeur: **Bailly du Bois, Bernard**
58 rue de Maubeuge
F-75009 PARIS(FR)

⑦④ Mandataire: **Thibon-Littaye, Annick**
11 rue de l'Etang
F-78160 Marly le Roi(FR)

⑤④ Procédé de conversion de l'énergie et dispositif pour sa mise en oeuvre.

⑤⑦ L'invention concerne la conversion en énergie mécanique de l'énergie utilisable d'un fluide de travail au moyen des forces de frottement et de Coriolis exercées sur ce fluide.

Le procédé consiste à faire varier la pression dudit fluide en le faisant circuler dans au moins un conduit (6) solidaire d'un rotor (3) tournant autour d'un axe fixe (1) et qui impose audit fluide, dans son mouvement relatif par rapport au rotor, des déplacements azimutaux se faisant dans le même sens que la rotation du rotor, lorsque le fluide se rapproche de l'axe, et dans le sens inverse, lorsque le fluide s'éloigne de l'axe. Ce procédé s'applique plus particulièrement lorsqu'une partie au moins des parois dudit conduit fait partie d'un échangeur de chaleur, de sorte que le fluide de travail subisse en même temps des variations déterminées de son entropie et de son enthalpie. Il peut être utilisé avantageusement avec des fluides artificiels de faible chaleur spécifique, constitués par une suspension de particules dans un gaz.

Il s'applique à une variété de machines telles que turbines, pompes, compresseurs, moteurs thermiques, pompes à chaleur.

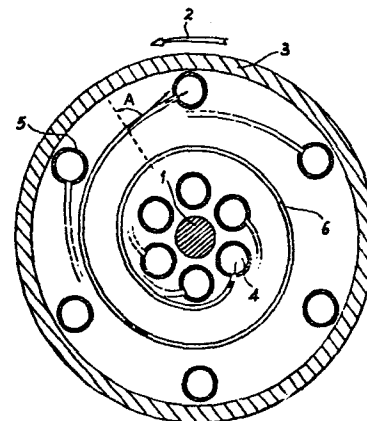


FIG. 2

0001732

Procédé de conversion de l'énergie
et dispositif pour sa mise en oeuvre

L'invention concerne les procédés industriels de conversion d'énergie impliquant au moins une étape où l'on agit sur la pression d'un fluide de travail, dans le sens d'une compression ou d'une détente, éventuellement, mais non nécessairement, dans le cadre de machines où le fluide de travail circule dans un circuit fermé en décrivant un cycle thermodynamique complet.

Il est déjà connu de faire subir un cycle thermodynamique à un fluide de travail à l'intérieur d'un rotor entraîné en rotation autour d'un axe fixe. On connaît en particulier des machines tournantes où le fluide de travail évolue entre une source chaude et une source froide, entre lesquelles la circulation du fluide est organisée de manière à tirer profit des effets de la force centrifuge qui permet la compression du fluide, lorsqu'il s'éloigne de l'axe de rotation, et la détente de ce fluide, lorsqu'il s'en rapproche. On connaît aussi des chaudières ou des condenseurs rotatifs, dans lesquels les effets de la force centrifuge sont exploités au cours du changement de phase du fluide pour favoriser la séparation des phases liquide et vapeur.

Les dispositions connues de ces machines et dispositifs peuvent également être utilisées avec avantage dans la mise en oeuvre de la présente invention, dans certains de ses modes de réalisation préférés. Elles sont en effet généralement

0001732

compatibles avec les particularités essentielles de l'invention. Celles-ci concernent l'organisation de la circulation du fluide de travail, sa nature et les conditions de fonctionnement dans toute machine tournante où, dans au moins une étape
5 le fluide de travail se comprime ou se détend à l'intérieur d'un rotor. L'invention s'applique donc à tout procédé ou dispositif permettant de produire ou d'absorber de l'énergie mécanique ou thermique en contrepartie d'une variation des caractéristiques du fluide de travail. En l'absence d'échange
10 thermique avec l'extérieur, on trouvera plus précisément les pompes et compresseurs dans le cas d'une compression du fluide de travail, les turbines dans le cas d'une détente, mais l'invention s'applique aussi aux moteurs thermiques et pompes à
15 un échange de chaleur entre le rotor et l'extérieur. D'une manière générale, le cycle thermodynamique suivi par le fluide peut être ouvert ou fermé, et il est souvent avantageux que plusieurs de ses phases s'effectuent à l'intérieur du même rotor.

Selon une première forme de mise en oeuvre, l'invention
20 consiste essentiellement à exploiter les forces de frottement au contact du fluide avec les parois qui le guident en faisant jouer au travail produit par le déplacement de ces forces un rôle important dans les variations de la pression du fluide le long du circuit, que ce soit dans le
25 sens de sa compression ou de sa détente, variations de pression qui sont liées par ailleurs au champ gravitationnel créé par la rotation.

Dans les dispositifs et machines selon l'invention mettant en oeuvre le nouveau procédé objet de l'invention, le
30 fluide de travail circule dans un conduit, notamment un conduit tubulaire, dont les parois sont solidaires d'un rotor mobile en rotation autour d'un axe fixe. Ce conduit détermine dans le rotor un circuit d'azimut variable autour de l'axe de rotation. La dénomination "circuit d'azimut variable" s'applique
35 ici et dans tout ce qui suit à des circuits ayant la forme générale d'une spirale, c'est-à-dire que les points successifs des diverses lignes de courant constituant un circuit sont situés dans des plans méridiens respectifs dont l'azimut varie

0001732

dans un sens déterminé et que ces points successifs se situent en même temps à des distances radiales qui varient dans un sens déterminé, pour des positions qui peuvent éventuellement varier en outre en direction axiale. Cette dénomination englobe les cas particuliers de spirales contenues dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation, par exemple les spirales d'Archimède, telles que la distance à l'axe varie proportionnellement à l'angle azimutal, ou les spirales logarithmiques, telles que l'angle que fait le vecteur directionnel avec la direction radiale reste constant.

Conformément à l'invention, le conduit de fluide de travail solidaire du rotor se rapproche de l'axe de rotation lorsqu'on le parcourt en tournant autour de cet axe, par rapport au rotor, dans le même sens que le sens de rotation du rotor (et donc s'écarte de l'axe lorsqu'on tourne en sens opposé). Autrement dit, le fluide de travail circule à l'intérieur du rotor dans un conduit en forme de spirale qui impose aux déplacements relatifs azimutaux du fluide par rapport au rotor un même sens tout au long du circuit, et ce conduit est orienté de façon telle que le fluide se rapproche de l'axe s'il tourne dans le même sens que le rotor dans son déplacement relatif par rapport à lui, et qu'il s'en éloigne s'il tourne en sens opposé. L'orientation géométrique de la spirale dépend par conséquent du sens de rotation du rotor, mais elle ne dépend pas du sens de déplacement du fluide dans son conduit. Naturellement, un même rotor peut comporter plusieurs, ou même un grand nombre de conduits analogues, en série et/ou en parallèle sur le circuit du fluide de travail.

Conformément à l'invention, on détermine en outre les caractéristiques géométriques du conduit du fluide de travail et les conditions de fonctionnement en liaison les unes avec les autres, de telle sorte que dans leurs projections azimutales (projections orthogonales sur la direction perpendiculaire au plan méridien) la force de frottement exercée par la paroi du conduit sur le fluide et la force de Coriolis soient du même ordre de grandeur.

L'invention permet ainsi d'éviter les variations locales de pression, et donc de vitesse, du fluide, et les



negotiations. Elles se réalisent dans les machines classiques, ou du moins de les réduire notablement. Elle utilise à cette fin, en combinaison, deux catégories de forces pour agir sur le fluide et constituer la projection
5 azimuthale des forces de Coriolis induites du fait de l'écoulement relatif du fluide par rapport au rotor, à savoir les forces de frottement qui s'exercent dans une direction parallèle à la surface des parois, et des forces de pression qui s'exercent dans une direction perpendiculaire à cette
10 surface et qui sont les seules à jouer un rôle utile sur les aubages des machines classiques.

En pratique, les avantages de l'invention sont obtenus si en chaque point du conduit le rapport de la projection azimuthale de la force de frottement à la projection azimuthale de la force de Coriolis est compris entre 0,2 et 2 et la géométrie du conduit est déterminée pour que cette condition soit respectée sur toute la longueur du circuit, dans toute la gamme des débits de fluide et vitesses du rotor en fonctionnement. A titre de comparaison, dans les machines
20 classiques, du fait que l'on s'y efforce de réduire les forces de frottement, ce rapport resterait inférieur ou au plus de l'ordre de 0,1.

La détermination des forces de frottement et des forces de Coriolis par les équations classiques fait intervenir
25 la vitesse angulaire ω du rotor, la vitesse relative V du fluide par rapport au rotor, le diamètre hydraulique D du conduit, le coefficient de frottement f du fluide sur les parois du conduit et l'angle A que fait avec le plan méridien le plan parallèle à l'axe du rotor et à la direction définie par le conduit au point considéré. La condition ci-dessus s'exprime
30 alors par la relation :

$$0,2 \leq \frac{fV}{\omega D} \operatorname{tg} A \leq 2.$$

On pourra ici, pour faciliter la compréhension, se reporter à la figure 1 des dessins annexés, où l'on a représenté en T la trajectoire d'un conduit, supposé dans un plan
35 perpendiculaire à l'axe, dans un rotor axé en O, tournant dans le sens de la flèche ω , en V la vitesse relative, par rapport au rotor, d'un fluide en cours de compression dans

le conduit, en C la force de Coriolis, en F la force de frottement, ainsi que les projections de ces forces sur la direction azimutale XX' (projections orthogonales).

Lorsque la condition selon l'invention est vérifiée, la vitesse relative V garde une valeur à peu près uniforme localement, pour des points situés dans le fluide, au voisinage des parois et à une distance donnée R de l'axe de rotation. Le coefficient f est déterminé au moyen de la relation $\frac{dp}{ds} = 2f \rho \frac{V^2}{D}$ où $\frac{dp}{ds}$ est la perte de charge par unité de longueur du conduit, mesurée lorsque le rotor est immobile et qu'on y fait passer le fluide de densité ρ avec une vitesse moyenne V. Le diamètre hydraulique D du conduit est égal à quatre fois le rapport entre sa section droite et le périmètre correspondant sur la paroi.

D'autre part, les rendements de compression et de détente sont d'autant meilleurs que le glissement du fluide par rapport au rotor est faible ; il est avantageux dans ce but de limiter le rapport $\frac{V}{\omega R}$ à une valeur inférieure ou très inférieure à 0,2.

Dans certains des modes de mise en oeuvre de l'invention, il est avantageux de combiner les effets mécaniques avec des apports ou des retraits de chaleur effectués par l'intermédiaire des surfaces de frottement que constituent les parois du conduit. On utilise alors ce conduit comme un échangeur de chaleur, qui peut constituer une source chaude ou une source froide, dans un cycle thermodynamique suivi par le fluide de travail. La chaleur peut être apportée à l'échangeur ou lui être retirée au moyen d'un fluide auxiliaire se trouvant de l'autre côté de parois tubulaires définissant le conduit du fluide de travail. En général, ce fluide auxiliaire circule avantageusement suivant des circuits en spirales parallèles à ceux du fluide de travail, dans le même sens que celui-ci ou en sens opposé. En variante, la chaleur peut être produite ou absorbée directement au sein même du fluide dans la zone du circuit constituant la source chaude ou froide.

Lorsque le conduit en spirale où circule le fluide pendant sa compression ou détente constitue un échangeur de chaleur, l'invention permet, en évitant les écarts locaux de

0001732

vitesse du fluide à une distance donnée de l'axe, de s'affranchir également des inconvénients de variations locales de l'écart de température entre le fluide et les parois du conduit.

5 Lorsque le conduit est utilisé comme échangeur, l'analogie de Reynolds implique que le nombre de Stanton de l'écoulement soit très voisin du coefficient $f/2$. Pour obtenir, suivant l'invention, l'uniformisation des températures de parois à une distance donnée de l'axe, une façon de rem-
10 plir la condition précédemment indiquée consiste à imposer que la quantité de chaleur échangée avec le fluide pendant que le rotor se déplace d'un radian soit comprise entre 0,4 fois et 4 fois le produit de la cotangente de l'angle A par la capacité calorifique par degré et à pression constante du
15 fluide contenu dans la portion de circuit considérée, multipliée par l'écart moyen de température entre le fluide et la paroi.

Lorsque l'écoulement est turbulent, le coefficient f est pratiquement invariable dans toute la plage de fonc-
20 tionnement du dispositif ; la condition imposée selon l'invention implique alors que les grandes variations de débit du fluide soient accompagnées de variations dans le même sens de la vitesse de rotation ω .

Lorsque l'écoulement est laminaire, la quantité
25 fVD est proportionnelle à la viscosité cinématique du fluide μ/ρ . La condition imposée conduit alors à fixer entre deux limites numériques le nombre $\frac{\rho \omega D^2}{\mu \tan A}$ pour les vitesses ω d'utilisation du dispositif. Si, par exemple, le conduit est matérialisé par des disques parallèles séparés par une dis-
30 tance $D/2$, le nombre ainsi défini peut être choisi pour rester compris entre 5 et 50 et de préférence voisin de 25.

En ce qui concerne l'angle A, les meilleures performances théoriques pour la puissance spécifique sont en général obtenues lorsque cet angle a une valeur constante

comprise entre 30 et 45 degrés, les conduits ayant alors la forme de spirales logarithmiques. Mais les problèmes constructifs posés par la réalisation des faibles diamètres hydrauliques rendent très souvent préférable, surtout pour les échangeurs de chaleur et les écoulements turbulents, l'utilisation de trajectoires relatives ayant la forme de spirales d'Archimède avec des angles A supérieurs à 60 degrés ou très peu inférieurs à 90 degrés, en pratique jusqu'à 89 degrés.

La section droite du conduit peut avoir une forme quelconque. Ses parois comportent généralement des ailettes ou des corrugations qui permettent, en particulier, de faire varier le diamètre hydraulique de l'écoulement et la vitesse relative V , en fonction de la distance R à l'axe.

Pour la disposition générale des conduits, trois configurations principales peuvent être adoptées : juxtaposition de disques empilés, perpendiculaires à l'axe, les conduits étant délimités dans le sens radial par des nervures en spirale solidaires des disques ; rangées de tubes enroulés en spirales radiales et raccordés à des tubes collecteurs de plus gros diamètre, parallèles à l'axe du rotor ; larges plaques nervurées disposées autour de l'axe à la manière d'un rouleau de tapis. Mais l'invention ne se limite pas à ces configurations les plus simples.

Selon une autre caractéristique de l'invention qui peut être utilisée avantageusement, bien que non nécessairement, en combinaison avec les conditions géométriques et fonctionnelles qui viennent d'être exposées, et qui peut généralement s'appliquer à tout procédé de conversion d'énergie impliquant la circulation dans un rotor d'un fluide de travail décrivant un cycle thermodynamique, avec échange d'énergie mécanique ou thermique entre le rotor et l'extérieur, on utilise pour constituer le fluide de travail un gaz de faible chaleur spécifique, de préférence de masse moléculaire au moins égale à celle de l'azote, contenant en suspension des particules submicroniques d'un corps de masse atomique élevée.

Cette solution a l'avantage de concilier les impératifs de faible chaleur spécifique et masse atomique élevée, souhaitables pour accroître l'écart de température entre source



0001732

chaude et source froide pour une vitesse périphérique donnée du rotor (ou à l'inverse pour diminuer la vitesse de rotation), sans faire appel à des gaz lourds comme la vapeur de mercure, dont l'emploi n'est pas toujours possible, pour des raisons
5 de corrosion chimique ou de nocivité. Toutefois, les dimensions des particules, au plus de l'ordre du micron, sont suffisamment faibles pour assurer l'homogénéité de température dans le fluide et pour que leur vitesse de glissement dans le gaz reste négligeable dans un fort potentiel de gravitation.

10 Le gaz support est avantageusement de l'azote ou un gaz monoatomique de masse atomique supérieure à la masse moléculaire de l'azote, de préférence l'argon ou le krypton, ou éventuellement le xénon.

Les particules peuvent être constituées par des
15 éléments chimiques, de pureté commerciale habituelle, en phase solide, de masse atomique supérieure à 90, de préférence le tungstène, le plomb, le bismuth, le thorium ou l'uranium. Ces particules peuvent être recouvertes d'une couche très mince d'un composé desdits éléments chimiques, de préférence un oxyde
20 en couche monomoléculaire, ou de tout matériau dispersif, dans le but en particulier de neutraliser les forces de Van der Vals.

L'épaisseur de ces particules est avantageusement au plus de 0,1 micron en moyenne, et de préférence compris entre
25 0,001 et 0,1 micron ; la surface spécifique de la poudre ainsi constituée est supérieure à 5 mètres carrés par gramme. Dans ces conditions, on peut aisément obtenir les avantages de l'invention avec un rapport entre la masse de la phase solide et la masse de la phase gazeuse dans le mélange compris entre
30 0,25 et 8 environ. La présence de telles particules permet d'accroître la densité du fluide, qui conserve cependant la compressibilité d'un gaz. L'invention permet de privilégier artificiellement les échanges d'énergie mécanique par rapport aux échanges de chaleur.

35 Une autre façon d'accroître les écarts de température entre source froide et source chaude dans la mise en oeuvre d'un cycle thermodynamique complet, consiste à utiliser des échangeurs récupérateurs entre haute et basse pression, avantageusement inclus dans le même rotor du dispositif de l'inven-

tion. Il est alors souhaitable d'utiliser pour le transfert de la chaleur récupérée par un circuit intermédiaire, un fluide dont la chaleur spécifique est beaucoup plus élevée que celle du fluide de travail, de façon à réaliser une sorte de pompe à chaleur interne à circulation naturelle dans le champ de pesanteur, prélevant automatiquement sur le cycle global la quantité d'énergie utilisable nécessaire pour compenser les frottements dans le circuit intermédiaire et fonctionnant avec un faible écart de température.

10 Par le choix de procédés particuliers de transfert de l'énergie utilisable entre le fluide et l'extérieur du rotor, il est possible d'assurer une étanchéité parfaite entre l'atmosphère et l'enceinte du fluide de travail. Une première façon, en elle-même connue, d'assurer cette étanchéité, consiste à utiliser un liquide ferromagnétique dans un joint tournant.

Une deuxième façon d'assurer cette étanchéité, suivant une variante particulière de l'invention, consiste à éviter tout joint tournant séparant l'atmosphère du fluide de travail et à utiliser, pour constituer le fluide de travail lui-même, une suspension de particules ferromagnétiques dans un gaz, ce fluide étant soumis à des champs magnétiques dont l'intensité varie en valeur absolue, créés par des aimants situés à l'extérieur du rotor.

25 Une troisième façon d'assurer cette étanchéité, suivant une variante préférée de l'invention, permet de supprimer tout joint tournant entre l'atmosphère extérieure et un fluide de travail sans propriétés magnétiques particulières. Elle consiste à faire passer successivement le fluide de travail décrivant une évolution thermodynamique en circuit fermé, dans les conduits du rotor, conformes au procédé faisant l'objet de l'invention, et dans les conduits d'un autre organe entièrement incorporé dans le rotor, cet organe de réaction étant maintenu artificiellement immobile, suivant une première variante, ou pouvant tourner autour du même axe que le rotor, mais avec une vitesse angulaire différente, éventuellement en sens opposé, suivant une deuxième variante. Dans les deux variantes, le mouvement relatif du rotor et de l'organe de

réaction interne permet de transformer en travail, dans un sens ou dans l'autre, l'énergie utilisable contenue dans le fluide de travail.

Les modes de réalisation particuliers qui seront
5 décrits plus en détails, à titre d'exemples non limitatifs, sont construits comme le montrent les représentations schématiques des figures 2 à 7 jointes, dans lesquelles :

La figure 2 représente un conduit élémentaire de fluide de travail, dans un dispositif de base suivant l'inven-
10 tion, ou machine A, selon une coupe transversale du rotor ;

la figure 3 représente schématiquement, en coupe longitudinale, une machine B selon l'invention qui constitue un moteur ;

la figure 4 représente, en coupe longitudinale
15 schématique, une troisième variante de réalisation de l'invention, où une machine C est un moteur à récupération intermédiaire fonctionnant avec deux sources thermiques pratiquement isothermes ; et

les figures 5, 6, 7, représentent les variations
20 thermodynamiques du fluide de travail sur un diagramme température-entropie, respectivement pour les machines A, B et C.

La figure 2 représente une coupe d'un dispositif de base fonctionnant en compresseur. Ce dispositif comporte, dans l'exemple correspondant à cette figure, un axe 1 au centre
25 du rotor, entraîné en rotation dans la direction indiquée par la flèche 2, une enveloppe cylindrique 3 qui ceinture le rotor et sur laquelle sont reportés les efforts mécaniques exercés par le champ de gravitation sur les structures internes.

Le circuit du fluide comporte six tubes d'admission 4 et six tubes collecteurs 5, tous de gros diamètre et
30 d'axes parallèles à l'axe du rotor, disposés de façon symétrique autour de l'axe du rotor. Les tubes d'admission sont reliés aux tubes collecteurs par des conduits 6, de petit diamètre, disposés en spirales, qui constituent les conduits du
35 fluide de travail suivant l'invention. On a fait apparaître sur la figure l'angle A considéré ci-dessus. Dans le cas particulier, cet angle est proche de 86 degrés. Les conduits 6 sont ailetés intérieurement dans le sens longitudinal et sont

disposés suivant des rangées jointives juxtaposées dans la direction axiale. Les points de connexion, sur un même tube d'admission, appartenant à des rangées successives différentes, sont décalés d'une rangée à l'autre dans le sens azimutal pour faciliter la réalisation des soudures, mais l'ensemble du montage présente une symétrie d'ordre six et est ainsi équilibré dynamiquement autour de l'axe de rotation. Les spirales sont décrites dans le sens opposé au sens de rotation du rotor lorsqu'on les parcourt en s'éloignant de l'axe. Dans le cas considéré, leur distance à l'axe s'accroît d'une quantité égale à six fois le diamètre extérieur des conduits, pour chaque tour autour de l'axe dans le mouvement relatif par rapport au rotor.

Dans ce cas particulier, la valeur de $\text{tg} A$ est en moyenne de 16 pour ce circuit. On considère, par exemple, le cas où ce dispositif est accouplé à un moteur synchrone tournant à la vitesse de 3000 tours par minute et où il doit fournir un débit correspondant à une vitesse de 10 mètres par seconde dans le conduit, le fluide entrant dans le conduit à une distance de 25 cm de l'axe et en sortant à une distance de 50 cm, sa densité étant suffisamment élevée pour que le nombre de Reynolds dépasse 10^5 et la rugosité des parois étant telle que le coefficient f reste constant et égal à 0,6 %. On impose pour ces conditions une valeur $f \text{ tg } A \frac{V}{\omega D}$ en moyenne égale à 0,8 en fixant un diamètre hydraulique un peu inférieur à 4 millimètres, ce qu'on peut réaliser avec un tube de 20 mm de diamètre extérieur et 17 mm de diamètre intérieur, comportant 16 ailettes intérieures, longues de 6 mm, leur largeur variant de 2,5 mm à la base à 1 mm aux extrémités.

Avec de tels paramètres constructifs, la rotation du dispositif à 3000 tours par minute ne perturbe que de façon minime l'uniformité des vitesses et des températures sur le contour des ailettes.

Pour la même vitesse de rotation, on peut faire varier le débit de fluide de la moitié au double du débit nominal en conservant à $f \text{ tg } A \frac{V}{\omega D}$ des valeurs qui varient entre 0,4 et 1,6, ce qui permet de conserver la majeure partie des avantages de la présente invention. En remplaçant le moteur syn-

chrone par un moteur dont la valeur d'utilisation peut varier de 1000 à 4000 tours par minute, il est d'ailleurs possible de faire varier par un facteur supérieur à 12 les débits volumiques.

5 En variante, lorsque le dispositif de la figure 2 fonctionne au régime nominal avec $V = 10$ m/s et $\omega = 314$ radians par seconde et qu'on l'utilise comme source thermique fournissant de la chaleur à de l'eau circulant autour des tubes, on constate que, pour une chaleur spécifique à pression
10 constante du fluide circulant à l'intérieur des tubes égale à 300 kilojoules par tonne et par degré et pour une température de ce fluide supérieure de 4°C à celle des parois, l'abaissement de température entre l'entrée dans le conduit, à une distance de 25 cm de l'axe, et sa sortie, à 50 cm de l'axe, est
15 seulement de 18°C , alors que cet abaissement serait de 48°C pour la même vitesse de 10 m/s et le même écart de 4°C avec la paroi si le rotor était immobile, c'est-à-dire si le fluide n'était pas comprimé en même temps qu'il est refroidi. Pour une capacité calorifique de la masse de fluide contenu
20 dans le conduit égale à 0,01 kilojoule par degré et pour une densité moyenne du fluide de $0,1 \text{ t/m}^3$, la chaleur cédée chaque seconde par le fluide est de 1,26 kilowatts.

La figure 5 indique, sur un diagramme température (t)-entropie (S), l'évolution du fluide entre l'entrée a et
25 la sortie b. Le point a' correspond à la température qui serait obtenue à la sortie pour un écoulement adiabatique, c'est-à-dire sans circulation d'eau à l'extérieur des tubes. Le point b' correspond à la température qui serait obtenue à la sortie avec une circulation d'eau réglée pour obtenir un écart
30 de température de 4°C entre le fluide et la paroi dans le rotor immobile. La courbe en pointillé représente une évolution isobare. Cet exemple montre bien que le dispositif suivant l'invention permet de réaliser une variation quelconque de la température et de l'enthalpie en fonction de l'entropie, de
35 façon presque réversible. La vitesse de rotation du rotor et le sens de circulation du fluide déterminent la variation de l'énergie mécanique, tandis que l'écart de température entre le fluide et la paroi détermine les apports ou les retraits

de chaleur. Dans le cas d'une évolution adiabatique, les avantages signalés pour un fonctionnement en compresseur se retrouveraient pour une turbine en intervertissant entrées et sorties du fluide.

5 Il apparaît d'autre part clairement que les conditions recherchées pour l'angle A et le diamètre hydraulique D peuvent être réalisées dans des configurations très variées. Les spirales de la figure 2 peuvent schématiser des nervures fixées à des disques perpendiculaires à l'axe de rotation ;
10 elles peuvent également représenter l'intersection avec un plan perpendiculaire à l'axe de rotation de deux nappes profilées soudées sur les deux bords et enroulées autour de l'axe de rotation en lui restant parallèles. On voit aussi que tous les artifices habituellement utilisés pour obtenir le coefficient f et le diamètre hydraulique D souhaités dans des
15 échangeurs peuvent être mis en oeuvre pour obtenir des conduits satisfaisant aux conditions caractérisant le procédé suivant l'invention.

La description des machines B et C qui va suivre
20 est destinée à montrer par des exemples comment le dispositif de base peut être incorporé dans diverses machines mettant en oeuvre des cycles thermodynamiques fermés. Les exemples choisis sont des moteurs, mais des dispositions analogues peuvent évidemment être adaptées pour des pompes à chaleur.

25 La machine B, représentée sur la figure 3, est un moteur dans lequel le fluide de travail décrit un cycle thermodynamique entre deux sources thermiques où il est à des températures différentes et où il échange de la chaleur avec un fluide auxiliaire extérieur, à travers les parois des conduits
30 qui contrôlent sa circulation. La source chaude est constituée par un circuit d'eau pressurisée et la source froide par un circuit d'eau à la température ambiante. L'apport de chaleur s'accompagne d'une détente du fluide de travail et l'extraction de chaleur s'accompagne d'une compression.

35 Le fluide de travail circule dans le rotor 41 à l'intérieur d'un circuit dont une partie se situe dans un organe 59 qui est entièrement incorporé dans le rotor mais qui est maintenu immobile, par accouplement magnétique avec un

appui fixe 55 situé à l'extérieur. Le circuit du fluide de travail est ainsi hermétiquement fermé vis-à-vis de l'extérieur du rotor. L'évolution thermodynamique est représentée par le diagramme de la figure 6, représentant les variations de la température en fonction de l'entropie. Elle consiste en une compression adiabatique de (d) à (e), une détente quasi-isotherme de (e) à (f), une détente adiabatique de (f) à (g) et une recompression quasi-isotherme de (g) à (d).

Le fluide de travail est du krypton, dont la pression dans le circuit est de plusieurs dizaines de bars à l'arrêt de la machine. Ce gaz contient une suspension d'une masse équivalente de fines particules de tungstène. Ces particules de tungstène ont une épaisseur de l'ordre d'un dixième de micron et elles sont recouvertes d'une couche monomoléculaire de carbure. La chaleur spécifique à pression constante du mélange est ainsi cinq fois plus faible que celle de l'air et le rapport des chaleurs spécifiques à pression et à volume constant reste assez élevé.

Le rotor 41 de la machine est capable de tourner à une vitesse périphérique comprise entre 400 et 500 m/sec. En fonctionnement, il entraîne un alternateur produisant de l'électricité, couplé à l'arbre axial 42 du rotor, au-delà des raccords de fluides auxiliaires, mais non représenté sur les figures.

Le circuit du fluide de travail et les circuits auxiliaires d'eau chaude et d'eau froide sont rigidement fixés à ce rotor qui comprend trois bâtis distincts, soit un bâti froid 43, un bâti chaud 44 et un bâti de contre-réaction 45, reliés indépendamment à l'axe de rotation pour diminuer les contraintes thermiques. Les deux sources thermiques sont constituées annulairement autour de l'axe du rotor, la source chaude étant plus éloignée de cet axe que ne l'est la source froide.

Le circuit principal comporte, dans le bâti froid 43, trois tubes d'admission 46 et trois tubes collecteurs 47, de gros diamètre, dont les axes sont parallèles à l'axe du rotor, disposés autour de ce rotor sur deux cylindres concentriques. Ces tubes d'admission et ces tubes collecteurs sont

reliés entre eux par des conduits 48, de petit diamètre, suivant une disposition analogue à celle du dispositif de base de la figure 2, mais avec une symétrie ternaire. Les conduits 48 sont ailetés intérieurement et l'importance de ces ailettes s'accroît lorsqu'on s'écarte de l'axe de façon que le produit de la section de passage par le diamètre hydraulique soit inversement proportionnel à la densité locale du fluide de travail. La suspension de tungstène dans le krypton constituant le fluide de travail circule à l'intérieur des conduits 48, suivant des circuits en spirales orientés de façon à tourner autour de l'axe de rotation, dans un sens opposé à celui de la rotation de la machine, lorsqu'on s'éloigne de l'axe. L'ensemble des tubes d'admission et des collecteurs de la partie froide s'appuie sur une structure mécanique permettant de transmettre les efforts centrifuges à une virole cylindrique extérieure du bâti 43.

Dans le bâti chaud 44 sont disposés trois tubes d'admission 51 et trois tubes collecteurs 52 analogues à ceux de la partie froide, mais de diamètre plus faible et disposés respectivement plus loin et plus près de l'axe 42. Ces tubes sont reliés entre eux par des conduits 53, ailetés intérieurement, dont le diamètre est également plus faible que ceux de la partie froide. Ces conduits sont disposés en rangées juxtaposées dont chacune comporte trois spires enroulées dans un plan perpendiculaire à l'axe. Les spirales sont orientées de façon qu'on se déplace dans le même sens que celui de la rotation de la machine lorsqu'on se rapproche de l'axe de rotation. L'ensemble des conduits 53 s'appuie sur une structure mécanique transmettant la majeure partie des efforts centrifuges à une virole très épaisse du bâti 44 entourant l'ensemble de la zone chaude.

Les trois tubes collecteurs 47 de la zone froide sont reliés individuellement respectivement aux trois tubes d'admission 51 de la zone chaude par trois tubes radiaux de raccordement 54. Les dilatations différentielles sont compensées par la flexion de ces tubes radiaux. Les trois tubes collecteurs 52 de la zone chaude sont reliés à des orifices 57 de la zone de contre-réaction 45' par trois tubes de rac-

0001732

cordement 56 comportant une partie radiale et une partie axiale.

Ces orifices 57, répartis annulairement, comportent des aubages analogues aux aubages distributeurs d'une turbine axiale et ils sont situés en regard d'aubages semblables 58 portés par un organe immobile 59. Cet organe immobile de détente comporte des conduits 61, de section décroissante, disposés en spirales orientées dans le même sens que le sens de rotation du rotor et aboutissant à des orifices 62, plus éloignés de l'axe de rotation, comportant également des aubages et situés en regard d'un diffuseur d'entrée dans le rotor.

L'organe immobile 59 a une forme annulaire ; il repose sur un palier constitué par l'axe 42 du rotor, par l'intermédiaire d'un coussin de gaz 86 qui est obtenu par prélèvement d'un faible débit du fluide de travail entre les orifices 57 et 62 où les pressions statiques sont différentes et qui sépare la partie fixe de la partie mobile en assurant une lubrification aérodynamique. Des labyrinthes d'étanchéité, non représentés sur la figure, séparent les deux séries d'orifices 57 et 62. L'organe fixe 59 porte une partie d'un circuit magnétique 64 dont les polarités sont alternées dans le sens azimutal, ce circuit magnétique se fermant à travers le bâti 45 (dont l'épaisseur est faible dans l'entrefer 66) dans un support fixe, référencé 55, situé à l'extérieur du rotor.

Le circuit auxiliaire d'eau froide comprend une conduite d'admission 74, ménagée au centre de l'arbre du rotor, et des conduits annulaires d'échappement 75, reliés l'un et les autres à des dispositifs d'étanchéité annulaires de raccordement au réseau extérieur, schématiquement figurés en 76 et 77, et à des tubes radiaux 78 et 79, assurant leur raccordement à la boîte à eau froide qui entoure les conduits 48 de la partie froide, suivant une disposition analogue à celle de la machine A, sauf que l'eau y circule dans le même sens que le fluide de travail.

L'admission et l'échappement de l'eau chaude se font suivant des dispositions analogues à celles du circuit froid, au moyen des conduites d'admission 82, d'évacuation 83, et des conduits radiaux de raccordement 84 et 85. L'eau cir-

0001732

cule dans la boîte à eau chaude, autour des parois des conduits de fluide de travail, en se rapprochant de l'axe de la machine. Le circuit chaud est relié par l'intermédiaire de joints étanches tournants et d'une pompe à un dispositif de
5 pressurisation et de réchauffage comportant des brûleurs à l'extérieur du rotor. Ces dispositifs n'ont pas été représentés sur les figures.

L'ensemble du rotor 41, avec ses bâtis chaud et froid 44 et 45, ainsi que le support fixe 55, sont enfermés
10 dans une enceinte, non représentée sur la figure, à l'intérieur de laquelle on impose au moyen d'une pompe auxiliaire une pression d'air inférieure à 1 cm de mercure, ce qui permet de réduire les pertes par frottement sur la paroi extérieure des pièces en mouvement rapide.

15 Lorsque la machine B de la figure 3 est en fonctionnement, le fluide de travail décrit le cycle thermodynamique de la figure 6. Il est comprimé adiabatiquement dans les tubes 54, pendant son transfert de la zone froide à la zone chaude, et il s'échauffe, par exemple de 300°C. Cette
20 transformation est globalement adiabatique pour le mélange de krypton et de tungstène, mais elle ne l'est pas pour le krypton considéré séparément ; la température du krypton est très légèrement supérieure à celle du tungstène qui joue le rôle de puits de chaleur. Le champ de gravitation augmente l'en-
25 thalpie par unité de masse du mélange et il en résulte une forte augmentation de la densité et de la pression.

Malgré l'importance des accélérations, la vitesse de glissement du tungstène par rapport au gaz reste négligeable en comparaison de la vitesse moyenne de l'écoulement
30 et l'agitation turbulente contribue à homogénéiser le mélange. Les transformations sont donc proches de la réversibilité.

Dans les conduits 53 de la zone chaude ((e) à (f)), le mélange cède au rotor de l'énergie mécanique correspondant à la variation de l'énergie potentielle de gravitation. Comme
35 l'écart de température entre l'eau et le fluide reste faible, le fluide sort de la partie chaude avec une température diminuée d'une vingtaine de degrés comme celle de l'eau. Pendant cette transformation, la chaleur reçue par le fluide de tra-

0001732

vail est égale à la variation du potentiel de gravitation diminuée de la variation d'enthalpie. En même temps, la densité est divisée par un facteur important ; le diamètre des tubes est déterminé de façon que la vitesse du fluide par rapport au rotor soit de l'ordre de 15 mètres/seconde au milieu de la zone chaude.

Le fluide est ensuite détendu de façon globalement adiabatique, d'abord dans les trois tubes 56 solidaires du rotor, ensuite dans l'organe immobile 59 où sa température statique continue à décroître au profit d'une augmentation d'énergie cinétique qui lui permet de revenir dans le rotor en 62, à un niveau différent de potentiel gravitationnel. Cette zone de détente est celle où le rendement thermodynamique est le plus bas, mais les pertes restent cependant du même ordre de grandeur que dans deux étages successifs d'une turbine axiale et elles portent uniquement sur le travail utile du moteur. La détente se termine dans le rotor et le fluide pénètre dans la zone froide à une température un peu supérieure à la température d'entrée de l'eau de refroidissement. Dans les conduits 48 de la zone froide, le fluide cède sa chaleur (de (g) à (d)) en s'éloignant à nouveau de l'axe, et son déplacement azimuthal s'effectue en sens inverse de la rotation du rotor. Il reçoit un travail mécanique prélevé au rotor. Ce travail est un peu supérieur à la chaleur cédée à l'eau froide, parce que son enthalpie s'accroît d'une vingtaine de degrés.

Au total, le bilan des variations de l'énergie gravitationnelle est nul. Le rotor échange avec l'organe immobile 59 un travail mécanique égal à la différence des quantités de chaleur que le fluide de travail a reçu de la source chaude et a fourni à la source froide.

Dans le circuit d'eau froide, les variations de densité de l'eau dans le champ de gravitation tendent à favoriser son mouvement dans le sens voulu et on n'a pas besoin de pompe d'alimentation. Le circuit d'eau chaude requiert par contre une petite pompe auxiliaire, non représentée sur la figure, parce que la densité dans le champ de gravitation diminue entre l'entrée et la sortie.

La puissance du moteur est contrôlée par le débit

0001732

du courant d'eau chaude, au moyen d'une vanne placée sur le circuit de la pompe auxiliaire.

La machine C qui est représentée sur la figure 4 est un moteur fonctionnant entre deux sources presque isothermes et utilisant un récupérateur intermédiaire. La chaleur est apportée au rotor par rayonnement à une température voisine de 600°C et la source froide est refroidie par une circulation d'air atmosphérique. Un organe de réaction aérodynamique 99 est incorporé dans le rotor.

Le fluide de travail est du xénon dont la pression est de plusieurs dizaines de bars à l'arrêt de la machine ; il décrit un cycle thermodynamique représenté schématiquement par la figure 7, qui indique les variations de la température (t) en fonction de l'entropie (S). Il reçoit la chaleur de récupération entre (h) et (i) ; il se détend dans la source chaude entre (i) et (j), restitue la chaleur de récupération entre (j) et (k) et il est recomprimé dans la source froide entre (k) et (h). Dans la machine C, la détente s'effectue dans l'organe de réaction 99 qui tourne à l'intérieur du rotor 91, mais en sens inverse. Le rotor 91 contient la source froide 92 et la source chaude 93, de part et d'autre du récupérateur 94.

Dans ce rotor 91, le circuit du fluide de travail comprend successivement les tubes périphériques 95 du récupérateur 94, qui décrivent des hélices axiales, d'une extrémité à l'autre du récupérateur dans le sens longitudinal, les tubes ou conduits en spirales 96 de la source chaude 93, les tubes en hélices 97 de la zone interne du récupérateur 94, les tubes ou conduits 98 en spirales de la source froide 92.

Le circuit passe ensuite à l'intérieur d'un organe 99 analogue à celui de la machine B, qui est mobile en rotation autour du même axe que le rotor 91, mais indépendamment de celui-ci. Dans cet organe, le circuit est formé par des tuyères 101 se raccordant aux conduits du rotor 91 par des chambres annulaires comportant des aubages axiaux. Il s'agit de tuyères convergentes enroulées autour de l'axe de la machine en spirales orientées dans le même sens que le sens de rotation du rotor lorsqu'on s'éloigne de l'axe.

0001732

Le circuit de l'air de refroidissement dans la source froide 92 passe par des aubages parallèles à l'axe du rotor, repérés 111, fixés à la périphérie du rotor en regard de diffuseurs fixes d'entrée et de sortie. L'air passe en
5 102 suivant des trajectoires spiralées entre les conduits 98 de la source froide, qui comportent des ailettes extérieures très développées. Il s'écoule ensuite radialement en s'écartant de l'axe pour sortir du rotor en 103.

Le fluide auxiliaire utilisé dans la source chaude
10 93 est de l'eutectique NaK qui circule dans des canaux 104 situés au voisinage d'une surface radiale 105 du rotor, chauffée par rayonnement, puis entre les conduits 96 du circuit principal. Un volume d'expansion contenant de l'argon est ménagé en 106.

15 Le fluide auxiliaire du circuit récupérateur est de l'hélium sous forte pression, contenant une suspension de particules submicroniques de graphite. Le circuit de fluide auxiliaire comporte des tubes radiaux 107 et 108 pour passer d'une chambre annulaire externe contenant les tubes 95 à une
20 chambre annulaire interne contenant les tubes 97, respectivement en sens aller et en sens retour. A l'aller, le fluide auxiliaire passe par une capacité 109 dont l'entrée et la sortie sont décalées dans le sens azimutal, ce qui permet d'obtenir par effet d'inertie, au moment de la mise en route
25 de la machine, un mouvement amorçant la circulation de ce fluide auxiliaire dans le sens souhaité.

On peut noter que le circuit d'air comporte une phase de détente avec apport de chaleur, ce qui contribue à diminuer la quantité d'énergie mécanique qui lui est apportée
30 par le rotor pour entretenir sa circulation à l'encontre du champ gravitationnel (puisque sa densité décroît) et des forces de frottement. Les ailettes 111 des diffuseurs d'entrée et de sortie lui apportent l'énergie complémentaire nécessaire à son mouvement.

35 Le circuit de NaK ne comporte pas de pompe. Il fonctionne spontanément par circulation naturelle parce que les canaux 104 sont disposés de façon que la zone d'échauffement par rayonnement soit un peu plus éloignée de l'axe de

BAD ORIGINAL



rotation que la zone de refroidissement de ce fluide auxiliaire au contact des parois des conduits 96.

Le circuit d'hélium fonctionne également comme une pompe à chaleur en circuit fermé dans le champ de gravitation du rotor 91. L'écart moyen de température entre les tubes internes 97 et les tubes périphériques 95 du circuit récupérateur est supérieur à l'écart de température correspondant à l'équilibre adiabatique du mélange d'hélium et de graphite dans le champ de gravitation et la circulation se fait naturellement. Pour amorcer la circulation dans le sens convenable les orifices du conduit d'hélium dans la capacité 109 sont en retrait l'un de l'autre dans le sens azimutal comme on l'a indiqué plus haut.

La figure 7 représente l'évolution du fluide de travail en prenant comme référence la température d'arrêt par rapport au rotor 91. Entre la sortie et l'entrée dans ce rotor, le fluide de travail se détend dans les tuyères 101, de façon adiabatique, en augmentant son énergie cinétique. La différence des énergies gravitationnelles détermine la quantité d'énergie utilisable libérée par le mouvement relatif du rotor et de l'organe mobile interne 99.

La puissance du moteur est contrôlée par l'intermédiaire du flux de rayonnement parvenant sur la face 105 du rotor. Dans le cas particulier décrit, l'énergie libérée par l'action du fluide sur le rotor 91 et l'organe 99 est utilisée dans un générateur d'électricité représenté sur la partie gauche de la machine de la figure 4.

Il s'agit d'un générateur asynchrone, dont les enroulements triphasés d'induit 112 sont fixés au rotor de la machine, qui tourne en sens inverse de l'organe 99. On a schématiquement représenté en 113 trois contacts électriques fixés à l'axe du rotor 91, qui relie respectivement chacun des enroulements 112 à un circuit triphasé extérieur à la machine, dans lequel le système débite de l'énergie active. L'organe mobile 99 ne comporte pas d'enroulement électrique, mais seulement des conducteurs 114 situés à la périphérie, parallèles à l'axe et court-circuités à leurs extrémités (montage dit en cage d'écureuil).

Cet organe ne comporte pas d'évidements internes et son moment d'inertie est proche de celui du rotor 91.

Bien que cela n'apparaisse pas sur le dessin, on peut préciser que l'alimentation du palier aérodynamique 117 et le refroidissement du circuit électrique sont assurés par 5 prélèvement du fluide de travail, en dérivation sur sa partie la plus froide, entre 115 et 116.

En rappelant que l'invention n'est en rien limitée aux machines particulières qui ont été décrites à titre d'exemples, on soulignera ci-après certaines des caractéristiques 10 de l'invention qu'elles illustrent.

Dans des machines selon l'invention, les conduits de fluide peuvent être notamment constitués par des tubes ailetés qui décrivent des spirales d'Archimède et qui sont connectés en parallèle sur le circuit de fluide selon une symétrie 15 de révolution d'ordre ternaire au minimum. Le fluide de travail peut circuler soit à l'intérieur, soit à l'extérieur de ces tubes.

Pour que la totalité des transformations puisse 20 se faire dans un seul rotor, dans le cas d'un moteur ou d'une pompe à chaleur fonctionnant en circuit fermé, on peut utiliser un fluide ferromagnétique. Mais, en général, le fluide doit passer dans le rotor et dans un organe fixe, ou dans le rotor et dans un organe tournant à une vitesse différente.

25 Pour résoudre les problèmes d'étanchéité, on peut (machine B) faire passer le fluide de travail dans une enceinte d'accélération ou de ralentissement qui est située à l'intérieur des parois du rotor mais qui reste immobile par rapport à l'extérieur, la transmission des forces nécessaires pour compenser 30 le couple moteur ou résistant de la machine étant assurée au moyen d'un accouplement magnétique. On peut aussi (machine C) faire passer le fluide d'un premier rotor à un second rotor, ce second rotor étant entièrement situé à l'intérieur du premier, ayant un moment d'inertie comparable à ce premier rotor et tournant en sens inverse, le couple qu'exercent l'un sur 35 l'autre les deux rotors contrarotatifs étant équilibré par des forces magnétiques exercées sur des enroulements électriques qui jouent le rôle d'induit ou d'inducteur. Ces circuits élec-

tromagnétiques permettent d'extraire de l'énergie utilisable du fluide de travail, ou au contraire de lui communiquer de l'énergie mécanique par l'intermédiaire d'énergie électrique pénétrant dans le rotor principal au moyen de contacts tournants.

Parmi les principaux avantages de l'invention, on soulignera en particulier les suivants :

- utilisation de cycles thermodynamiques de rendements élevés grâce à des évolutions presque isothermes sans changement d'état ;
- réduction des dégradations d'énergie dans les transformations thermodynamiques quelconques ;
- mise en oeuvre des suspensions solides pour les transferts de chaleur ou les conversions d'énergie ;
- simplicité de conception d'un nouveau type de pompes, compresseurs ou turbines ;
- suppression des problèmes de cavitation dans les pompes et d'érosion dans les turbines ;
- réduction du bruit des turbomachines ;
- élargissement des possibilités de choix pour les propriétés du fluide de travail et pour l'agencement des différents organes dans toutes sortes de machines thermiques ;
- intégration de plusieurs transformations thermodynamiques dans un même organe de conception simple.

Naturellement, la portée du présent brevet n'est pas limitée aux particularités et dispositions préférées mentionnées dans le cadre des machines décrites de manière détaillée. Par exemple, les spirales planes ne constituent qu'un cas particulier de conduits à azimuth variable. Elles pourraient être remplacées par des courbes présentant en projection perpendiculairement à l'axe des formes de spirales planes, mais s'étendant en volume parallèlement à l'axe. Toutes les variantes de tels conduits, de même que toutes les variantes des divers éléments des dispositifs et machines décrits, font également partie de la présente invention. L'invention s'étend également à de nombreuses variantes des procédés décrits. Elle s'applique par exemple à des procédés où le fluide de travail subit des changements de phase par évaporation ou condensation, à l'in-

lérieur de conduits où il se déplace à des vitesses relativement faibles.

Procédé de conversion de l'énergie
et dispositif pour sa mise en oeuvre

REVENDEICATIONS

1. Procédé de conversion d'énergie impliquant au moins une étape de compression ou détente d'un fluide de travail à l'intérieur d'un rotor, caractérisé en ce que l'on fait circuler le fluide de travail dans un conduit solidaire du rotor qui décrit un circuit ayant la forme d'une spirale orientée de façon qu'il se rapproche de l'axe de rotation du rotor lorsqu'on le parcourt en tournant autour de cet axe dans le même sens que le sens de rotation du rotor et en ce que l'on détermine les caractéristiques géométriques du conduit en liaison avec les conditions de fonctionnement de telle sorte que dans leurs projections azimutales respectives, la force de frottement exercée par les parois du conduit sur le fluide et la force de Coriolis à laquelle est soumis le fluide soient du même ordre de grandeur.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'en chaque point du conduit la vitesse angulaire ω du rotor, la vitesse relative $\bar{V}$ du fluide dans le conduit, le diamètre hydraulique D du conduit, le coefficient de frottement f du fluide sur les parois du conduit et l'angle A que fait avec le plan méridien au point considéré le plan parallèle à l'axe du rotor défini par la direction du circuit en ce point, respectent en fonctionnement la condition :

$$0,2 \leq \frac{f}{\omega D} \bar{V} \operatorname{tg} A \leq 2.$$

3. Procédé de conversion d'énergie impliquant au moins une étape de compression ou détente d'un fluide de travail en circulation dans un rotor et décrivant un cycle thermodynamique, caractérisé en ce que l'on fait circuler le fluide de travail dans un conduit constitué selon la revendication 1 ou 2 et dans les conditions correspondantes, et en ce que sur une fraction au moins dudit circuit, le conduit constitue une source chaude ou une source froide où de la chaleur est apportée au fluide de travail ou en est retirée.

4. Procédé de conversion d'énergie impliquant la

circulation dans un rotor d'un fluide de travail décrivant un cycle thermodynamique, caractérisé en ce que l'on utilise pour constituer le fluide de travail un gaz de faible chaleur spécifique, contenant en suspension des particules submicroscopiques d'un corps de masse atomique élevée.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le gaz est choisi parmi l'azote, l'argon, le krypton et le corps de masse atomique élevé parmi le tungstène, le plomb, le bismuth, le thorium, l'uranium.

6. Dispositif de compression ou détente d'un fluide de travail, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens propres à la mise en oeuvre d'un procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 5, parmi lesquels un rotor à sens de rotation déterminé dans lequel sont ménagés des conduits de fluide de travail définissant un circuit en spirale.

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend des parois d'échange thermique, notamment tubulaires, définissant une partie au moins desdits conduits, et des moyens de circulation d'un fluide de travail et d'un fluide auxiliaire respectivement de part et d'autre desdites parois.

8. Dispositif selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que lesdits conduits sont constitués par des tubes décrivant des spirales, de préférence des spirales d'Archimède, qui sont connectés en parallèle sur le circuit de fluide, de préférence selon une symétrie de révolution d'ordre ternaire au minimum.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour faire circuler tour à tour le fluide de travail, de préférence en circuit fermé, dans lesdits conduits du rotor et dans des conduits ménagés à l'intérieur d'un organe en déplacement relatif par rapport au rotor autour du même axe, éventuellement immobile, et des moyens de couplage entre ledit rotor et ledit organe indépendants du fluide de travail, notamment mécaniques ou électromagnétiques, permettant de convertir une partie de l'énergie utilisable dudit fluide de

travail en énergie mécanique, puis éventuellement en énergie électrique.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, caractérisé en ce que dans des zones différentes du rotor, lesdits conduits se trouvent à des distances de l'axe différentes d'une zone à l'autre, lesdites zones constituant notamment l'une une source chaude (de préférence plus éloignée de l'axe), l'autre une source froide pour le fluide de travail circulant dans les conduits.

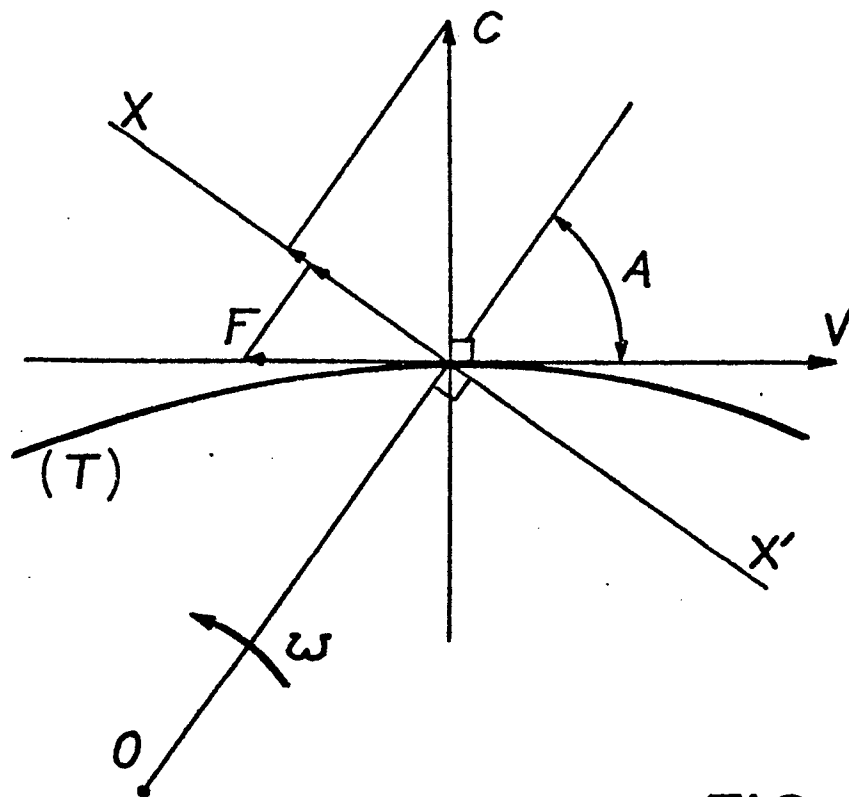


FIG.1

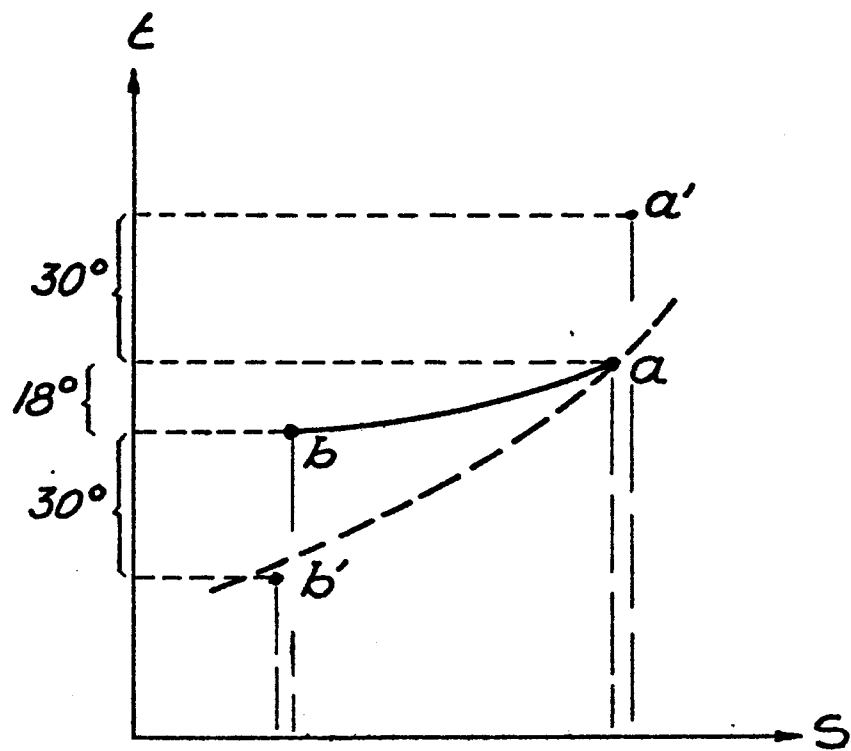


FIG.5

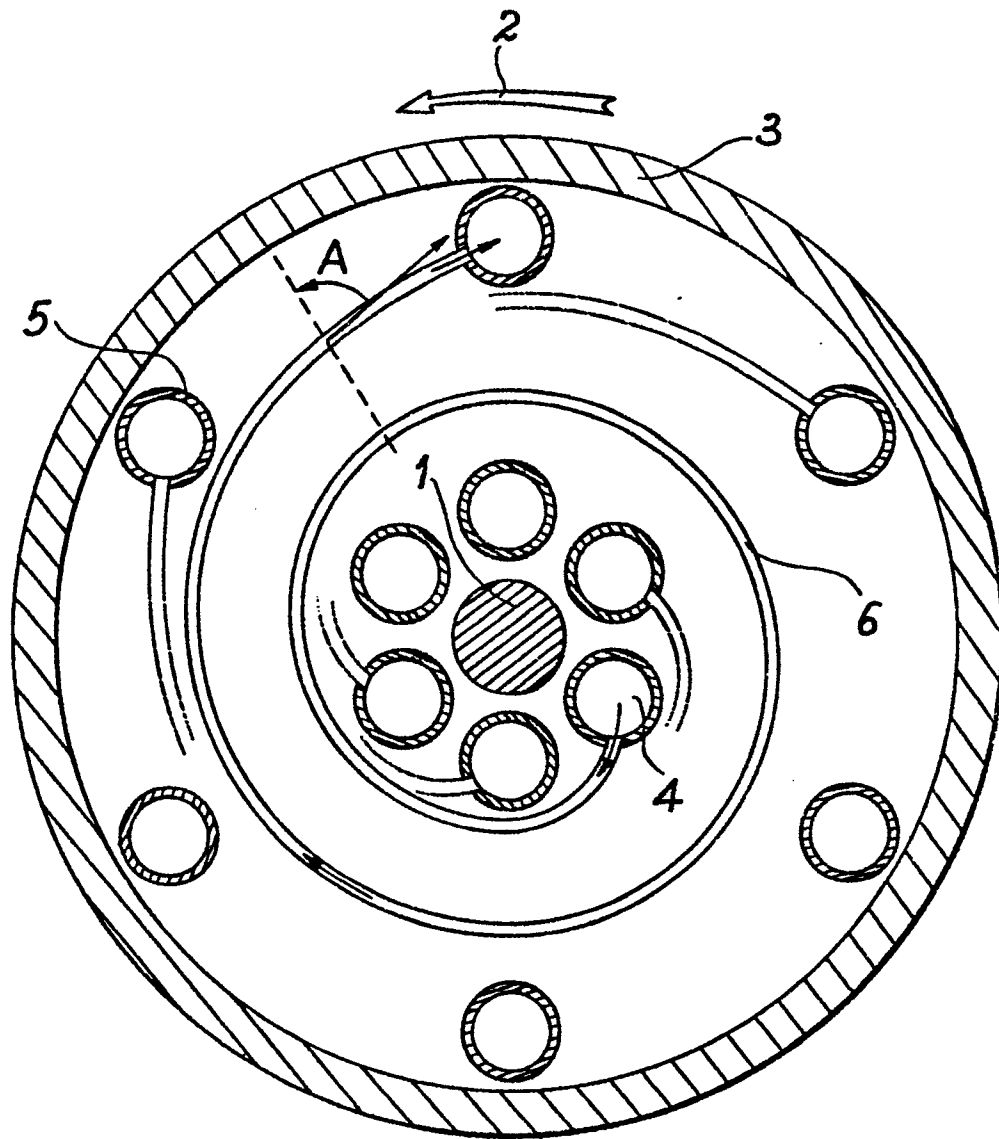
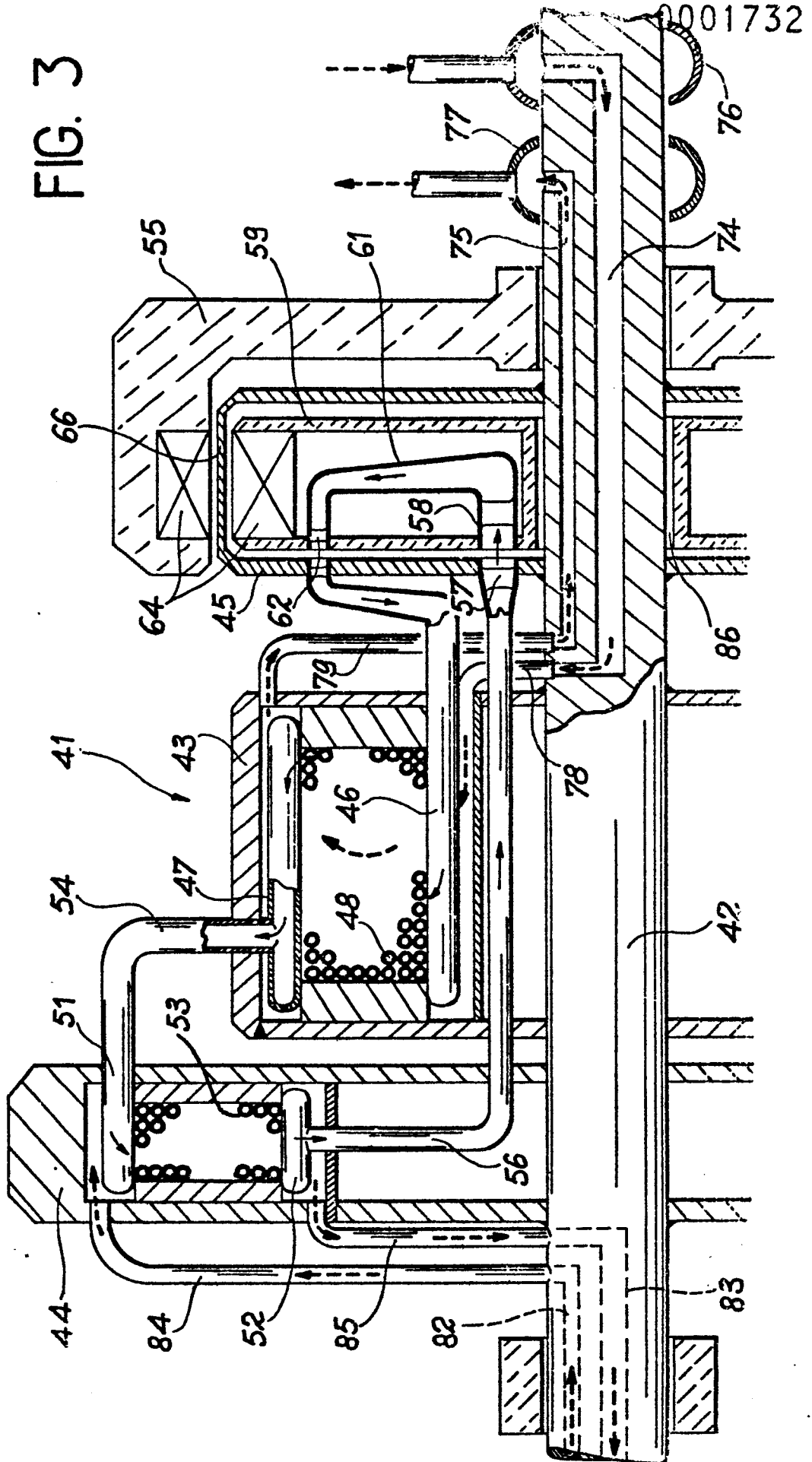
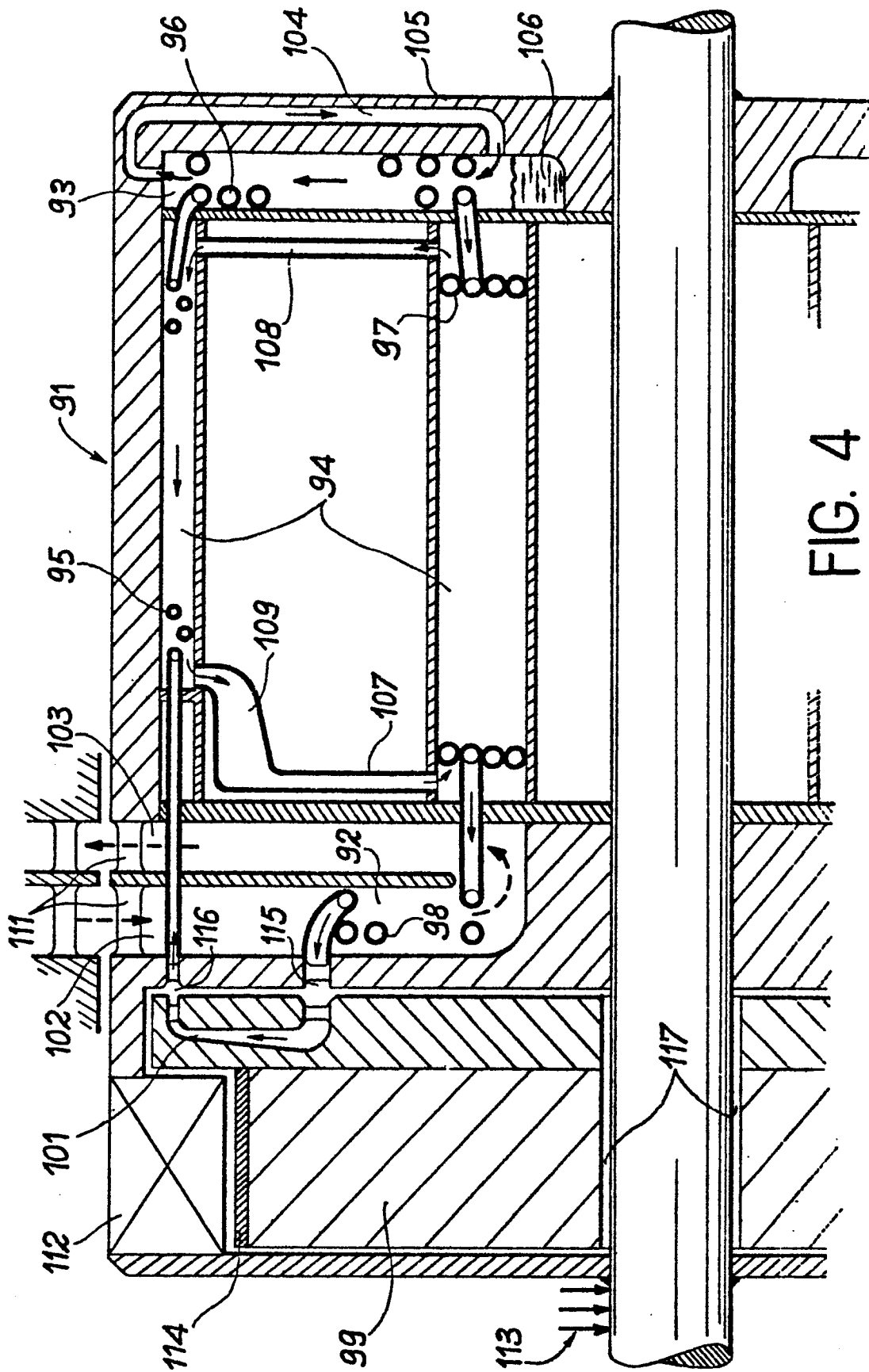


FIG. 2

FIG. 3





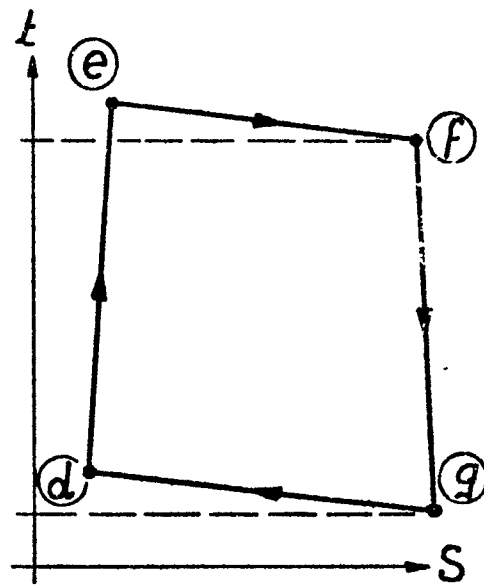


FIG. 6

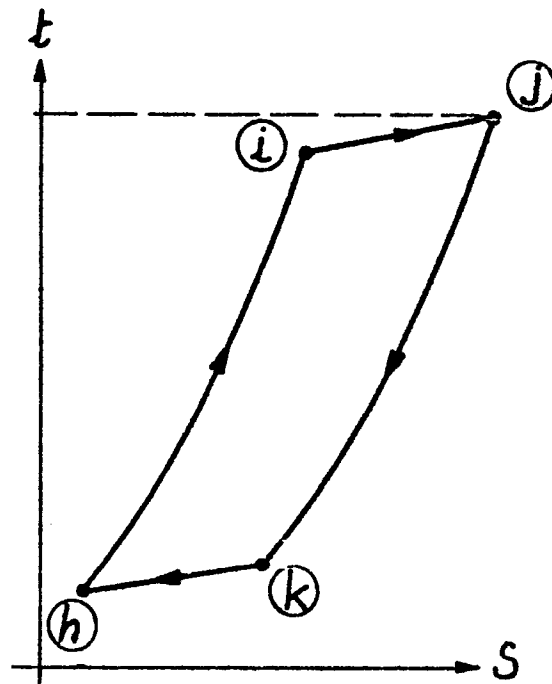


FIG. 7

0001732

Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 78 40 0133

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. ²)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
	US - A - 4 010 018 (F.W. KANTOR) * Figures 49, 59-67; colonne 3, lignes 8-16; colonne 4, lignes 23-36; colonne 12, ligne 59 - colonne 13, ligne 35; colonne 15, lignes 49-51; colonne 19, lignes 39-44; colonne 58, ligne 14 - colonne 60, ligne 35 * --	1,3,7, 9,10	F 01 K 11/04 F 25 B 3/00 F 28 D 11/04
	US - A - 3 948 061 (KIDWELL) * Figures 1-5; colonne 1, ligne 42 - colonne 2, ligne 28 * ----	1,3,6, 7	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.²) F 01 K 11/04 25/00 - 25/06 F 22 B 27/12 F 25 B 3/00 F 28 D 11/02 - 11/04 F 04 D 23/00 29/58 F 02 C 1/04
			CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X: particulièrement pertinent A: arrière-plan technologique O: divulgation non-écrite P: document intercalaire T: théorie ou principe à la base de l'invention E: demande faisant interférence D: document cité dans la demande L: document cité pour d'autres raisons
☒ Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			&: membre de la même famille, document correspondant
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		21-12-1978	KOVAC