

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
**INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
—  
COURBEVOIE  
—

①1 N° de publication : **3 106 943**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)  
②1 N° d'enregistrement national : **20 01131**  
⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **H 02 K 9/19 (2019.12), H 02 K 9/20, H 02 K 1/32**

①2

## BREVET D'INVENTION

**B1**

⑤4 DISPOSITIF DE REFROIDISSEMENT DE ROTOR ET MACHINE TOURNANTE LE COMPOR-  
TANT.

②2 Date de dépôt : 05.02.20.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 06.08.21 Bulletin 21/31.

④5 Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 26.05.23 Bulletin 23/21.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *LEVIATHAN DYNAMICS Société  
par Actions Simplifiées — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : KANG Karino et CHAUVIN Alan.

⑦3 Titulaire(s) : LEVIATHAN DYNAMICS SAS.

⑦4 Mandataire(s) : CASSIOPi.

**FR 3 106 943 - B1**



## Description

### **Titre de l'invention : DISPOSITIF DE REFROIDISSEMENT DE ROTOR ET MACHINE TOURNANTE LE COMPORTANT**

#### **DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION**

[0001] La présente invention vise un dispositif de refroidissement de rotor et une machine tournante le comportant. Elle s'applique, notamment, au refroidissement des rotors de compresseurs, en particulier de compresseurs de réfrigération utilisés, par exemple, dans le conditionnement d'air, dans la surgélation et dans la distribution d'eau glacée.

#### **ÉTAT DE LA TECHNIQUE**

[0002] Pendant longtemps, les fabricants de systèmes de réfrigération (air conditionné, surgélation, groupe d'eau glacé) ont utilisé de façon intensive des réfrigérants chimiques dans les cycles à compression mécanique. L'impact de ces fluides sur le climat est non négligeable. Les accords sur le climat ont permis de bannir progressivement les fluides les plus néfastes. Une nouvelle réglementation va bientôt modifier en profondeur les règles d'usage de ces réfrigérants. Peu à peu, les utilisateurs et fabricants de systèmes de réfrigération devront se tourner vers des alternatives naturelles pour être en droit de commercialiser et d'utiliser leur produit indispensables à leur usage.

[0003] Pour les applications de réfrigération où la température froide est supérieure à 0°C, l'utilisation de l'eau comme réfrigérant est la solution la plus pertinente :

- L'eau est un fluide naturel, non polluant et non toxique,
- L'eau ne présente pas de risques d'explosion et d'inflammation,
- Les propriétés thermodynamiques de l'eau permettent d'obtenir un excellent coefficient de performance énergétique et
- L'eau n'est pas soumise à une réglementation concernant sa manipulation en circuit fermé.

[0004] La majorité des systèmes de réfrigération se basent sur le cycle frigorifique à compression mécanique de vapeur, lequel repose sur des changements de phase liquide-vapeur du fluide de travail. Les températures d'utilisation du système définissent les pressions de fonctionnement de la machine. Pour pouvoir évaporer de l'eau à basse température, il faut que le circuit soit sous vide (de l'ordre de quelques mbar en pression absolue). Mais la vapeur d'eau sous vide possède une énergie volumique très faible comparée aux réfrigérants conventionnels qui sont utilisés généralement sous pression, un facteur multiplicatif de l'ordre de 200 les séparant. Afin de disposer d'un système de compression de taille et coût raisonnable, il faut exploiter un compresseur capable d'offrir un débit volumique très élevé dans un volume compact tout en assurant le taux de compression requis pour effectuer le différentiel de température

entre la partie chaude et la partie froide.

- [0005] Dans le cas de l'utilisation d'un compresseur centrifuge à un ou plusieurs étages de compression et travaillant à haute vitesse, ce compresseur possède un rotor lui-même composé de plusieurs composants parmi lesquels :
- Un rotor de moteur électrique adapté à tourner à des vitesses supérieures à 50 000 tr/min,
  - Un ou plusieurs étages de compression de type dynamique et
  - Un ou plusieurs paliers dont la technologie est adaptée à supporter les conditions de fonctionnement de l'application, à savoir en particulier le vide, la vapeur d'eau et la vitesse de rotation du rotor.
- [0006] Le rotor est soumis à un échauffement provenant de différentes sources telles que les pertes électriques et magnétiques du rotor, les frottements aérodynamiques sur les roues centrifuges ainsi que les pertes par frottement sur les paliers.
- [0007] Le niveau de vide requis dans l'enceinte du compresseur limite fortement les transferts de chaleur par convection. De ce fait, il est nécessaire de trouver une solution pour limiter la température du rotor en régime permanent. En effet, au-delà d'un certain niveau de température, les éléments du rotor peuvent être dégradés ou perdre en performance énergétique. On peut par exemple citer une dégradation de la résistance maximale à la rupture des composants soumis à une forte centrifugation (roues centrifuges et rotor électrique en particulier), une dilatation des composants sur l'arbre qui rendrait inopérant l'assemblage (défretage), une perte de performances du moteur électrique pouvant conduire à la démagnétisation du rotor (dans le cas d'un moteur synchrone à aimant permanent), une usure prématurée des paliers par évaporation du lubrifiant ou de température supérieure à la limite d'utilisation des matériaux. Tous ces phénomènes peuvent conduire à la destruction du rotor.
- [0008] Pour cette raison et l'ensemble des conséquences citées précédemment, une solution de refroidissement doit être définie afin de contrôler la température du rotor.
- [0009] On connaît quatre procédés de refroidissement usuellement utilisés :
- Injection d'un liquide à l'intérieur d'un rotor,
  - Transfert de vapeurs autour du rotor,
  - Caloduc tournant et
  - Refroidissement par évaporation.
- [0010] La première solution consiste à injecter un liquide dans un arbre puis le faire ressortir de sorte à récupérer les calories du rotor. On connaît, par exemple, le document US 9,148,041 qui décrit un système dans lequel une lance fixe est insérée dans l'arbre creux d'un rotor d'une machine électrique. Un liquide de refroidissement fait un aller-retour dans la lance et sert de fluide frigoporteur. Un liquide de lubrification est inséré radialement dans la lance et sort au bout de la lance. Ce liquide de lubrification passe

ensuite entre la lance et l'arbre creux pour ressortir radialement de l'arbre.

- [0011] Dans le document DE102015214309, une buse installée dans l'arbre creux injecte directement le lubrifiant utilisé en tant que fluide de refroidissement. Le fluide pénètre au fond de l'arbre et passe entre l'alésage de l'arbre et la buse. Il ressort radialement vers un pignon ce qui assure par la même occasion la lubrification des engrenages.
- [0012] Le document US 6,191,511 reprend le même principe. Un dispositif de refroidissement est mis en place pour équilibrer la température entre le rotor et le stator. Pour cela, un liquide passe à travers le stator puis est acheminé vers le rotor au travers d'une buse. Celle-ci possède une forme de vis afin de pousser le fluide qui revient sur la partie extérieure de la buse dans l'alésage de l'arbre. Le liquide ressort du rotor et repart dans la partie extérieure du stator où il est refroidi par l'air ambiant.
- [0013] Le document US 7,489,057 utilise une injection de liquide où la buse est liée à l'arbre. Des supports permettent de maintenir la buse dans le rotor tout en assurant un passage de retour du liquide entre la buse et la surface interne de l'arbre. Des joints tournants assurent l'interface entre les pièces fixes et les pièces tournantes. La buse est alimentée par un liquide pompé dans un réservoir et amené jusqu'à ladite buse par un conduit. Arrivé à l'extrémité de la buse, le liquide passe autour de la buse et change de direction. Le liquide ressort entre l'espace compris entre l'arbre et la buse vers le réservoir d'alimentation. Les revendications portent sur l'architecture combinée du rotor et de la buse et la configuration de gestion d'arrivée et de sortie du liquide.
- [0014] La solution consistant à injecter un liquide dans un rotor et le faire passer entre une lance fixe ou tournante et un rotor creux tournant est valable généralement pour des rotors tournant à des vitesses de rotation modérées. En effet, les frottements hydrodynamiques dépendent essentiellement de la vitesse de rotation et de la viscosité du fluide. Pour des hautes vitesses de fonctionnement, le frottement du fluide produirait un échauffement excessif, ce qui aboutirait à l'effet inverse de celui recherché.
- [0015] Dans le document DE102016109274, une buse est installée dans un rotor creux de moteur électrique et envoie du réfrigérant radialement à son axe vers l'intérieur d'un rotor électrique. Le liquide traverse des canaux longitudinaux autour du rotor. Une membrane perméable à la vapeur confine le liquide à l'intérieur du rotor. Lorsque le réfrigérant s'évapore, il est évacué du rotor et aspiré par un compresseur. Le stator électrique possède également un système de refroidissement par passage d'un liquide de refroidissement dans des canaux.
- [0016] Cette solution est mal adaptée pour plusieurs raisons. Tout d'abord l'emploi d'un ou plusieurs compresseurs augmente la complexité du dispositif, en plus d'une redondance avec le compresseur de réfrigération. Ensuite, la réalisation de canaux dans le rotor électrique limite les performances mécaniques et donc nécessite de surdimensionner le rotor électrique pour atteindre les vitesses de fonctionnement souhaitées,

tout en respectant la tenue mécanique des éléments.

- [0017] La seconde solution connue repose sur le passage de la vapeur entre le rotor et le stator. Cette technique est couramment utilisée dans les compresseurs de gaz. Par exemple, le document WO2014/200476 décrit un système dans lequel le réfrigérant, à l'état liquide et provenant du condenseur, est envoyé dans un canal autour du stator électrique, lequel s'évapore pour ensuite circuler autour du rotor et enfin retourner dans l'évaporateur.
- [0018] Ce document est pertinent dans le cas de fluides de travail tels que les réfrigérants fluorés. Mais il n'est pas applicable dans le cas de l'eau car l'eau étant conducteur électrique, le passage du fluide en diphasique entre le stator électrique et le rotor électrique poserait des problèmes de continuité électrique que l'on cherche à éviter.
- [0019] Le document WO2017/148932 présente un système fonctionnant à faible pression et à haute vitesse de rotation du compresseur. Ce système repose sur l'évaporation du réfrigérant à partir de l'échauffement du stator électrique. Les vapeurs passent au travers de l'enceinte moteur et dans l'entrefer du moteur afin d'évacuer une partie des calories du rotor. Les vapeurs surchauffées ressortent par le dos de la roue centrifuge et rejoignent les vapeurs comprimées dans la volute. Cette solution nécessite cependant de grands débits de vapeur de réfrigérant pour extraire les calories accumulées au rotor et la vapeur est uniquement générée par l'échauffement du stator électrique et non du rotor.
- [0020] Que ce soit pour l'injection de liquide dans le rotor ou la mise en place d'un débit de vapeur autour du rotor, ces solutions se basent essentiellement sur un transfert de chaleur monophasique autour du rotor. Les capacités calorifiques de l'eau sont les suivantes :
- À l'état liquide, l'eau a besoin de  $4,18 \text{ J/g/}^\circ\text{C}$
  - À l'état vapeur, l'eau a besoin de  $2,01 \text{ J/g/}^\circ\text{C}$
- [0021] or, l'enthalpie d'évaporation de l'eau atteint plus de  $2\,200 \text{ J/g}$ . Il est donc plus intéressant d'utiliser le changement de phase de l'eau pour extraire les calories que d'utiliser un fluide monophasique sur l'ensemble du procédé de transfert de chaleur. C'est la raison d'être des caloducs tournants, la troisième solution étudiée.
- [0022] Un caloduc tournant est une solution d'échange diphasique reposant sur le transfert de chaleur à l'intérieur d'un arbre. Le principe est le suivant : un arbre long comportant deux zones, une zone de chaleur et une zone froide. L'arbre est creux et alésé de façon conique afin de permettre la circulation d'un fluide. Dans la zone chaude, le liquide au contact des parois s'évapore et occupe tout le volume de l'arbre creux. Cette vapeur rejoint la zone froide où elle est condensée sur la paroi et elle coule le long du cône par effet de centrifugation pour revenir dans la zone chaude d'évaporation et le cycle recommence. Cette technique est couramment exploitée sur des gros moteurs ou sur des

arbres longs, sous la dénomination de caloduc tournant. Cette solution est pratique dans le cas où il est possible d'extraire les calories par un côté de l'arbre et lorsque le différentiel de température est important. La température de changement de phase est conditionnée par la pression à l'intérieur de l'arbre fermé. Nombreux sont les documents portant sur le refroidissement d'un rotor par caloduc tournant tel que le document US 3,999,400.

- [0023] Dans le document US 5,629,573, un caloduc tournant installé dans un arbre est refroidi par un spray de liquide pulvérisé sur la partie de l'arbre correspondant au condenseur du caloduc tournant. Ceci apporte un meilleur échange thermique côté condenseur même dans des conditions d'échanges convectifs restreints. Cependant ce système implique d'allonger l'arbre afin d'obtenir une zone à refroidir, or ceci n'est pas favorable dans le cas d'un rotor comportant déjà un long porte-à-faux et entraînerait donc des problèmes dynamiques.
- [0024] De plus, il apparaît également que l'injection d'un spray sur un arbre haute vitesse peut introduire des phénomènes d'érosion par l'impact des microgouttelettes sur des surfaces en mouvement.
- [0025] Le document EP 1 310 035 propose de placer un tube fermé dans un arbre creux de rotor tournant et dans lequel les échanges entre le rotor et le tube sont purement convectifs par l'intermédiaire d'un gaz. Le problème majeur de cette solution réside dans l'étanchéité entre le rotor et le stator et pour lequel une étanchéité doit être assurée par un système de type joint ou équivalent. Il apparaît que cette solution n'est pas exploitable pour de grandes vitesses de rotation du rotor.
- [0026] En conclusion, ces solutions sont limitées car il n'y a pas d'accès à une zone froide privilégiée sur le rotor, que ce soit du côté du compresseur ou du côté du moteur. De plus, la solution présentée précédemment est mal adaptée pour la configuration de notre compresseur car elle nécessite la mise en place d'une étanchéité dynamique, solution difficile à mettre en place dans le cas de différentiels de pression importants.
- [0027] Il apparaît donc que les solutions les plus pertinentes se basent sur l'évaporation d'un liquide injecté au cœur d'un arbre creux. L'idée est de bénéficier de l'enthalpie de changement d'état du fluide de refroidissement pour extraire les calories. Une telle solution est présentée dans le document CN105356637A. Ce document décrit un système de refroidissement pour un rotor exploitant l'évaporation d'un fluide au travers d'un rotor placé à la verticale. Un fluide passe au travers d'un arbre totalement creux débouchant. Le fluide évaporé ressort par la partie basse du rotor où il est récolté et condensé. Le liquide est ensuite renvoyé dans le stator puis une partie est injectée dans le tube, le reste repartant vers le réservoir. Cette structure est mal adaptée à la configuration d'un compresseur car il faudrait déployer un dispositif de récupération de la vapeur à l'entrée du compresseur ce qui gênerait le passage des vapeurs de ré-

frigérant.

### **Exposé de l'invention**

- [0028] La présente invention vise à remédier à tout ou partie de ces inconvénients.
- [0029] À cet effet, selon un premier aspect, la présente invention vise un dispositif de refroidissement d'un rotor d'une machine tournante, qui comporte :
- dans l'assemblage rotor, au moins une cavité ouverte débouchant autour de l'axe de rotation du rotor,
  - en regard de la cavité, un injecteur de liquide de refroidissement et
  - une évacuation du fluide de refroidissement sous forme de vapeur, quittant la cavité.
- [0030] Ainsi, le liquide de refroidissement injecté dans la cavité formée autour de l'axe du rotor s'évapore au contact de la surface de cette cavité et refroidit le rotor.
- [0031] Dans des modes de réalisation, l'assemblage rotor comporte un arbre et un rotor électrique entouré par un stator électrique, la cavité étant formée, au moins dans l'arbre.
- [0032] Grâce à ces dispositions, la chaleur dégagée par l'échauffement du rotor électrique et des paliers (frottement des roulements à bille) est évacuée par l'évaporation du liquide de refroidissement directement au niveau du rotor électrique et des paliers.
- [0033] Dans des modes de réalisation, la cavité formée dans l'arbre s'étend sur toute la longueur du rotor électrique jusqu'à au moins un palier.
- [0034] Grâce à ces dispositions, le refroidissement du rotor s'étend au-delà du seul rotor électrique et refroidit au moins un palier.
- [0035] Dans des modes de réalisation, l'ouverture de la cavité formée dans l'arbre est partiellement obturée par un rétreint dont la surface de la section au niveau de l'ouverture de la cavité est inférieure à la surface de la section à l'intérieur de la cavité.
- [0036] Ce rétreint, par exemple conique, retient le liquide de refroidissement pendant la rotation du rotor, qui peut être très rapide, par exemple de l'ordre de 50 000 tours par minute.
- [0037] Dans des modes de réalisation, le stator électrique est parcouru, parallèlement à l'axe de rotation du rotor, par au moins un canal configuré pour véhiculer au moins une partie de la vapeur obtenue par évaporation du liquide de refroidissement dans la cavité de l'arbre.
- [0038] Grâce à ces dispositions, le stator électrique est refroidi par le fluide de refroidissement sous forme gazeuse.
- [0039] Dans des modes de réalisation, l'entrefer entre le rotor électrique et le stator électrique est configuré pour véhiculer au moins une partie de la vapeur obtenue par évaporation du liquide de refroidissement dans la cavité de l'arbre.

- [0040] Grâce à ces dispositions, la partie extérieure du rotor électrique et la partie intérieure du stator électrique sont refroidis par le fluide de refroidissement sous forme gazeuse.
- [0041] Dans des modes de réalisation, le rotor présente un axe de rotation sensiblement vertical et la cavité ouverte formée dans l'arbre est orientée vers le haut.
- [0042] Grâce à ces dispositions, le liquide de refroidissement est retenu par la force d'inertie et par gravité à l'intérieur de la cavité formée dans l'arbre.
- [0043] Dans des modes de réalisation, le fluide de refroidissement est de l'eau.
- [0044] L'eau offre des avantages important :
- Réduction de la facture énergétique
  - Réduction des coûts de maintenance
  - Réduction des coûts d'infrastructures.
- [0045] Selon un deuxième aspect, la présente invention vise une machine tournante comportant un compresseur et un dispositif de refroidissement objet de l'invention, le fluide de refroidissement étant le même fluide que le fluide de travail comprimé par le compresseur.
- [0046] Grâce à ces dispositions, un même fluide est traité par le circuit externe à la machine tournante et certains des composants de ce circuit, par exemple un échangeur de chaleur, peuvent être communs au fluide comprimé et au fluide de refroidissement.
- [0047] Dans des modes de réalisation, un canal est formé dans un carter de moteur pour véhiculer au moins une partie de la vapeur obtenue par évaporation du liquide de refroidissement dans la cavité de l'arbre, et un interstice est ménagé entre la volute et le dernier étage du compresseur, cet interstice étant configuré pour véhiculer cette partie de la vapeur.
- [0048] Grâce à ces dispositions, le fluide de travail refoulé par le dernier étage du compresseur peut être refroidi par le fluide de refroidissement sous forme gazeuse.
- [0049] D'autres avantages, buts et caractéristiques particulières de la machine tournante objet de l'invention étant similaire à ceux du dispositif de refroidissement objet de l'invention, ils ne sont pas rappelés ici.

### **BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES**

- [0050] D'autres avantages, buts et caractéristiques particulières de l'invention ressortiront de la description non limitative qui suit d'au moins un mode de réalisation particulier du système d'apprentissage et de ses applications objets de la présente invention, en regard des dessins annexés, dans lesquels :
- [0051] [fig.1] représente, schématiquement, un cycle thermodynamique à compression mécanique de vapeur, où le fluide de refroidissement est prélevé sur le circuit de l'évaporateur,
- [0052] [fig.2] représente, schématiquement, un cycle thermodynamique à compression

mécanique de vapeur, où le fluide de refroidissement est prélevé sur le circuit du condenseur,

- [0053] [fig.3] représente, schématiquement et en deux sections, un compresseur centrifuge avec deux étages de compression, avec un passage des vapeurs au travers du moteur électrique,
- [0054] [fig.4] représente, schématiquement et en deux sections, un compresseur centrifuge avec deux étages de compression, avec un passage des vapeurs par une sortie radiale du carter moteur,
- [0055] [fig.5] représente, schématiquement et en section, une partie du compresseur illustré en [fig.3],
- [0056] [fig.6] représente, schématiquement et en section, une entrée d'injection avec un rétreint progressif et
- [0057] [fig.7] représente, schématiquement et en section, une entrée d'injection avec rétreint droit.

### **Description des modes de réalisation**

- [0058] La présente description est donnée à titre non limitatif, chaque caractéristique d'un mode de réalisation pouvant être combinée à toute autre caractéristique de tout autre mode de réalisation de manière avantageuse.
- [0059] On note dès à présent que les figures ne sont pas à l'échelle.
- [0060] Le dispositif décrit en regard des figures 1 à 7 est un dispositif de refroidissement, par évaporation, d'un rotor de compresseur haute vitesse, plus particulièrement dans un environnement faiblement convectif. Cependant, la présente invention s'applique à toutes les machines tournantes.
- [0061] Dans les systèmes de refroidissement de rotor présentés précédemment, les solutions mises en œuvre ne sont pas adaptées à des rotors tournant à haute vitesse dans des environnements faiblement convectifs. En effet, le passage des vapeurs sont mal adaptés car les phénomènes de convection forcés sont peu efficaces sous vide ou imposent de fournir un débit de vapeur important au détriment des pertes aérodynamiques dans l'entrefer et du jeu de passage entre le rotor et le stator. Dans le cas d'un transfert de chaleur par injection d'un liquide dans un arbre creux, cette solution entraîne d'importantes pertes par frottement lorsque le liquide se trouve entre la paroi et la buse d'injection.
- [0062] L'invention, et son application au refroidissement d'un compresseur en particulier, s'inscrit dans un cycle thermodynamique à compression mécanique de vapeur tel que présentés sur les figures 1 ou 2. Dans le cas de l'eau en tant que réfrigérant, l'eau est le fluide de travail. Celui-ci est évaporé à faible pression, cette même pression étant définie par la température d'évaporation souhaitée (par exemple, entre 0 et 20°C pour

un cycle frigorifique au R718, R718 désignant le code de réfrigérant de l'eau d'après la norme 34-1992 d'ANSI/ASHRAE). Le cycle thermodynamique 10 illustré en [fig.1] est dérivé d'un cycle à compression mécanique de vapeur classique mais dans le quel le fluide frigoporteur et le réfrigérant sont une seule et même entité. À ce propos, l'homme du métier pourra se référer à la description de la demande de brevet publiée sous le numéro FR3071913.

[0063] La [fig.1] montre un compresseur 12 qui récupère la vapeur d'eau qui est à basse température et provient d'un évaporateur 11 au travers d'une conduite 21. La pression de sortie du compresseur 12 est définie par la température de condensation de la vapeur d'eau par rapport à l'environnement ambiant (par exemple entre 50 et 60°C). Les vapeurs sont condensées au niveau d'un condenseur 13 après transfert par une conduite 22 depuis le compresseur 12. Cet échangeur thermique 13 peut être refroidi par l'air ambiant grâce à un ventilateur (non représenté) ou par un autre fluide, liquide ou gazeux. Après condensation de la vapeur d'eau, l'eau liquide passe au travers d'une vanne de détente 14, appelé aussi détendeur, transféré via une conduite 23 depuis le condenseur 13, puis retourne dans l'évaporateur 11 par la conduite 24. Le fluide frigoporteur à l'état liquide dans l'évaporateur 11 est transféré vers une canalisation 17 connectée au système à refroidir par la pompe de circulation 16. Le fluide frigoporteur ayant absorbé les calories provenant du système à refroidir est acheminé dans une conduite de retour 18 qui revient vers l'évaporateur 11 en phase liquide-vapeur. Dans le cas où le liquide de refroidissement du rotor est prélevé sur le circuit de l'évaporateur 11, la pompe de circulation 16 a également pour rôle de fournir la pression et le débit nécessaire au système de refroidissement du rotor du compresseur 12. Pour cela, une partie du fluide frigoporteur est dérivé grâce à la canalisation 19 à la sortie de la pompe de circulation 16. Le débit du fluide est contrôlé par la vanne de régulation 15 puis le liquide est envoyé au système d'injection du compresseur 12 par la canalisation 20.

[0064] Une seconde variante du circuit de refroidissement 30 d'un rotor dans laquelle le liquide de refroidissement est prélevé directement dans le condenseur 13 est représentée dans la [fig.2]. Dans ce cas, une pompe de circulation 25 est placée sur le circuit du condenseur 13. Une partie du débit de la pompe 25 est exploitée pour fournir ce qui est nécessaire au système de refroidissement du rotor du compresseur 12. De la même manière que dans la [fig.1], une canalisation 28 prélève une partie du liquide pour l'envoyer au compresseur 12 via une canalisation 20, le tout étant régulé par la vanne 15. La majeure partie du débit de la pompe de circulation 25 est envoyé dans la conduite 26 afin d'être emportée vers une unité de condensation, laquelle refroidit le réfrigérant qui revient ensuite dans la conduite 27 et permettre de condenser les vapeurs chaudes présentes dans la partie haute du condenseur 13.

- [0065] La [fig.3] représente, en haut, une section axiale et, en bas, une section transversale A-A repérée dans la partie haute. Comme illustré en [fig.3], le compresseur 12 est constitué d'un rotor tournant 31 et de deux parties statoriques d'une enveloppe statorique 32. Le rotor tournant 31 comprend un arbre primaire 33 sur lequel sont montés et fixés différents composants, en particulier le rotor électrique d'entraînement 39, le ou les étages de compression 34a et 34b, et le système de paliers constitué des roulements 37a et 37b, un jeu d'entretoises 35 et 38, ainsi qu'un écrou de blocage 36.
- [0066] L'assemblage rotorique 31 est réparti en trois zones, une partie moteur, une partie palier et une partie compression, placées respectivement et successivement les unes à la suite des autres. La partie compression peut comporter un ou plusieurs étages de compression, deux étages étant représentés sur la [fig.3] sous la forme de roues centrifuges 34a et 34b. La technologie de compression dite centrifuge a été adoptée car elle permet d'obtenir des débits volumiques et des rapports de compression importants pour un encombrement réduit, ces caractéristiques étant particulièrement recherchées lorsqu'on utilise l'eau comme réfrigérant sous de faibles températures d'évaporation. Les roues centrifuges 34a et 34b sont réalisées dans un matériau léger et résistant à la contrainte mécanique tel que les alliages d'aluminium, voire en titane. Les étages de compression 34a et 34b sont montés les uns derrières les autres, ce qui a pour intérêt d'obtenir un compresseur compact tout en limitant les pertes de charges dans un diffuseur inter-étage 51.
- [0067] En positionnant le rotor électrique 39 et les étages de compression 34a et 34b de part et d'autre de la zone palier 37a et 37b, on dispose d'un rotor 31 avec un double porte-à-faux équilibré et dont la gestion thermique de la zone palier est homogène et centralisée. L'arbre primaire 33 est réalisé dans un matériau dur et rigide tel que l'acier ou la fibre de carbone. Tous les éléments assemblés sur l'arbre primaire 33 sont montés de sorte à permettre une transmission du couple mécanique à travers chaque élément requis, tout en garantissant que ce même couple soit transmis malgré les dilatations thermiques apparaissant au cours du fonctionnement et de la montée en température du compresseur 12, jusqu'à son point de fonctionnement nominal, ainsi que la prise en compte des dilatations liées à la centrifugation des composants. Pour monter les pièces sur l'arbre primaire 33, il pourra être fait usage de différentes techniques telles que le frettage thermique à froid, le frettage thermique à chaud, la combinaison des deux méthodes de frettage thermique ou encore l'emmanchement à force.
- [0068] Le couple mécanique est fourni par le rotor électrique d'entraînement 39. Ce dernier fonctionne, en combinaison avec un stator électrique 46, grâce à l'injection d'un courant électrique d'amplitude et de fréquence variable à ses bornes. Il existe plusieurs technologies de moteurs électriques parmi lesquelles, et de manière non exhaustive, les moteurs asynchrones, les moteurs synchrones à aimants permanents ou encore les

moteurs synchrones à réluctance variable. Le rotor électrique d'entraînement 39 est fixé sur l'arbre primaire 33 de manière à garantir une transmission de couple à fonctionnement nominal, en prenant en compte les dilatations thermiques et les déformations liées à la centrifugation du rotor. L'arbre primaire 33 comporte une cavité ouverte 40 qui passe le long du rotor électrique 39 et s'étend préférentiellement jusqu'à la zone palier où sont situés les roulements à billes 37a et 37b. Une buse d'injection 49 d'où provient le liquide de refroidissement 50 issu de la canalisation 20 est placée face à cette cavité 40.

[0069] La partie centrale de l'arbre primaire 33 comporte une portée cylindrique sur laquelle sont placés au moins les deux roulements à billes 37a et 37b. Ces roulements à billes 37a et 37b sont adaptés pour tourner à de grandes vitesses de rotation, par exemple au-delà de 50 000 tr/min. Il s'agit de roulements à billes à contact obliques montés en opposition. Les bagues intérieures et extérieures sont réalisées en acier durci, résistant à la corrosion, tandis que les billes sont en acier, voire en céramique. La cage de roulement est quant à elle dans un matériau résistant à la température à laquelle le roulement fonctionne. Les roulements 37a et 37b sont montés sur l'arbre primaire 33 avec un jeu de serrage qui permet de maintenir la bague de roulement fixe malgré les efforts de centrifugation et les dilatations thermiques en fonctionnement nominal.

[0070] La configuration de montage dite « dos à dos » des roulements 37a et 37b permet d'augmenter l'entraxe équivalent de la liaison pivot formée par les deux roulements. On note qu'il faut au minimum deux roulements pour satisfaire la condition de liaison pivot. Les éléments en contact avec les roulements 37a et 37b, c'est-à-dire l'alésage de roulement du carter moteur 45 et la portée de roulement de l'arbre primaire 33 ont une dureté équivalente au matériau des bagues de roulements. Il est possible de monter une combinaison de roulements asymétriques, où le nombre de roulements placés en contact avec l'entretoise 38 est différent du nombre de roulements placés en contact avec l'épaulement de l'arbre primaire 33 près du rotor électrique d'entraînement 39.

[0071] L'étage de compression 34a est monté en centrage long sur l'arbre primaire 33 et arrêté axialement par l'épaulement de l'entretoise 38. L'entretoise 38 est montée serrée sur l'arbre primaire 33 et bloquée axialement d'un côté par un épaulement de l'arbre primaire 33. L'étage de compression 34a est maintenu en position par l'interférence de serrage de son alésage sur la portée cylindrique de l'arbre primaire 33. L'entretoise 35 est positionnée et montée serrée en centrage long sur l'arbre primaire 33. L'entretoise 35 est réalisée dans un matériau similaire à celui des étages de compression 34 ou de l'arbre primaire 33. L'entretoise 35 est arrêtée axialement sur l'arbre primaire 33 jusqu'à l'étage de compression 34b.

[0072] Ensuite, l'étage de compression 34b situé au bout de l'arbre primaire 33 est monté par un centrage long. Il possède des caractéristiques de matière et de montage similaire

à l'étage de compression 34a. Les dimensions géométriques des étages de compression 34a et 34b peuvent être différentes, notamment pour la forme des aubes, le diamètre d'alésage, la largeur du moyeu, les diamètres d'entrée et de sortie des roues. L'étage de compression 34a possède également son propre jeu d'interférence garantissant un maintien de la pièce et une transmission du couple sur l'arbre primaire 33 en tenant compte des dilatations thermiques et de centrifugation. L'écrou de blocage 36 est ensuite fixé sur l'arbre primaire 33. L'écrou 36 possède un double rôle, d'une part, maintenir en place les étages de compression 34a et 34b et l'entretoise 35 dans la même position axiale et, d'autre part, de fournir un plan de correction durant la phase d'équilibrage du rotor 31. En effet, les tolérances de fabrication et de montage ne permettent pas de faire coïncider l'axe d'inertie de l'assemblage rotorique 31 avec son axe de rotation. Il se produit alors un déséquilibre résiduel qu'il convient de minimiser sous peine d'engendrer de fortes vibrations et des efforts radiaux sur les roulements à billes 37a et 37b pouvant conduire à leur dégradation prématurée. L'écrou de blocage 36 est vissé sur l'arbre primaire 33 et bloqué en rotation grâce au couple de frottement de sa face en épaulement avec l'étage de compression 34a. Cette pièce est réalisée dans un matériau similaire à celui de l'arbre primaire 33.

[0073] L'enveloppe statorique 32 comprend l'ensemble des éléments qui englobent le rotor 31 et assurent quatre fonctions majeures :

- permettre la rotation de l'assemblage rotorique 31,
- guider le fluide à comprimer entre les étages de compression 34a et 34b,
- connecter le compresseur 12 à la sortie de l'évaporateur 11 et à l'entrée du condenseur 13, et
- assurer l'étanchéité du rotor 31 vis-à-vis de l'extérieur.

[0074] L'enveloppe 32 du compresseur 12 se compose d'un carter de compresseur 59, du diffuseur inter-étage 51, d'un redresseur inter-étage 42 et d'une volute 53. Le carter compresseur 59 est connectée directement à l'évaporateur 11 via la conduite hermétique 21 (voir figures 1 et 2). Le carter 59 est réalisé dans un matériau ou comporte un revêtement résistant à la vapeur d'eau et au phénomène de corrosion. Ce carter 59 possède également une partie qui épouse la forme de chaque étage de compression. Un jeu n'excédant pas quelques dixièmes de millimètres est laissé entre la pièce statorique 53 et l'étage de compression 34a afin de permettre un débattement suffisant de l'assemblage rotor 31 lors de la mise en rotation du compresseur 12 et du passage des vitesses critiques. La rotation du premier étage de compression 34a aspire et propulse le gaz à l'aide des aubes qui les dirigent radialement vers l'extérieur par centrifugation. Le travail apporté convertit l'énergie cinétique du gaz en pression statique ce qui a pour conséquence de comprimer le gaz à la sortie de la roue centrifuge. Les vapeurs comprimées circulent ensuite dans le diffuseur 51 et passe par

le redresseur inter-étage 42 pour rejoindre l'entrée de l'étage de compression suivant 34b.

- [0075] Une étanchéité dynamique est réalisée avec l'entretoise 35 pour éviter un retour des gaz vers l'entrée du compresseur 12. Les vapeurs comprimés une première fois entrent ensuite dans le deuxième étage de compression 34b où ils sont à nouveau comprimés. À la sortie de l'étage de compression 34b, les vapeurs comprimées sont refoulées dans la volute 53 qui les redirige vers une sortie 44 du compresseur 12, laquelle est connectée au condenseur 13, de manière étanche par la conduite 22 (voir figures 1 et 2).
- [0076] Un jeu radial ou interstice 54 existe entre la volute 53 qui se trouve fixe par rapport à l'assemblage rotor 31, et l'étage de compression 34b. Ce jeu 54 permet de garantir une absence de contact entre le rotor 31 et le stator 32 durant les phases transitoires où un débattement radial peut apparaître, en particulier au passage des vitesses critiques du rotor 31 en régime flexible. Le carter 59 et la volute 53 sont fixées ensemble de manière à garantir une étanchéité au vide entre l'intérieur du compresseur placé sous vide, et l'extérieur, à la pression atmosphérique ou équivalent. De la même façon, la volute 53 est connectée de manière étanche au carter moteur 45. Les pièces du carter 45 sont positionnés par des montages de type centrage court avec épaulement afin de garantir un défaut de co-axialité inférieur à 0,1mm sur l'ensemble des pièces de révolution.
- [0077] Le carter moteur 45 intègre les roulements à billes à contact obliques 37a et 37b du palier du rotor 31 ainsi que le stator électrique 46 qui entraîne le rotor d'entraînement électrique 39. Un jeu de quelques dixièmes appelé entrefer 55 existe entre le rotor électrique 39 et le stator électrique 46. Ce jeu 55 évite tout contact entre les deux circuits électriques. Le compresseur 12 comprend également un flasque moteur 48 qui assure l'étanchéité du compresseur 12 vis à vis de l'extérieur et intègre également le système d'injection du liquide de refroidissement 50 du rotor 31. L'ensemble des pièces constituant le stator, en particulier le carter compresseur 59, la volute 53, le carter moteur 45 et le flasque moteur 48 sont réalisés autant que possible dans le même matériau, celui-ci étant léger et disposant d'un revêtement résistant à la corrosion.
- [0078] Le système de refroidissement du rotor 31 du compresseur comporte une arrivée du liquide de refroidissement 50 et une buse d'injection 49 tels que présentés sur la [fig.5]. Le liquide de refroidissement 50, de l'eau par exemple, est prélevée du circuit de l'évaporateur 11 ou du circuit du condenseur 13 et amené à une pression d'au moins 0,5 bar au-dessus de la pression du circuit dans lequel il a été prélevé, grâce à la pompe de circulation 16 ou 25. Avant d'atteindre le connecteur d'arrivée, le débit du liquide est régulé au travers la vanne 15. Le contrôle du débit peut être assuré de plusieurs manières - régulation proportionnelle du débit ou régulation binaire TOR (acronyme de

Tout ou Rien). Dans le dernier cas, le débit est moyenné sur la durée du cycle d'ouverture et de fermeture de la vanne 15. La valeur du débit du liquide de refroidissement à injecter dans le rotor 31 est déterminée à partir d'une loi basée sur un modèle des pertes thermiques présentes sur le rotor électrique 39 par la présence des pertes fer et pertes rotoriques et des roulements à billes à cause de la friction des billes sur les bagues de roulement. Le débit est ajusté en fonction des conditions de fonctionnement du compresseur 12. Certains paramètres physiques et électriques, tels que la puissance consommée par le moteur, la vitesse de rotation du compresseur ou la température des composants permettent de déterminer la quantité de liquide 50 à injecter pour refroidir le rotor 31.

[0079] Le système d'injection est présenté sur la [fig.5]. Le liquide de refroidissement arrive sous pression par la canalisation 20 dans le flasque moteur 48 dans lequel un canal 64 est réalisé de manière à permettre au liquide 50 d'entrer dans la buse d'injection 49. Cette buse d'injection 49 possède un canal 65 et un orifice de petite dimension défini pour délivrer un jet droit calibré, avec un débit constant pour le niveau de pression fourni par la pompe de circulation 16 ou 25. En sortie de la buse d'injection 49, un jet droit liquide est envoyé dans la cavité 40 de l'arbre primaire 33. Cette cavité est représentée de manière cylindrique sur la [fig.3]. Cette cavité 40, préférentiellement cylindrique est centrée sur l'axe de rotation de l'arbre primaire 33. La paroi 62 de la cavité 40 est rectiligne, par exemple en cylindre dont la directrice est circulaire, et parallèle à l'axe de rotation de l'assemblage rotor 31. Le fond 63 de la cavité 40 est représenté plat mais peut prendre toute autre forme. La buse d'injection 49 est également centrée sur l'axe de rotation de l'assemblage rotor 31 afin que le jet liquide 50 touche le fond de la cavité 63 sur l'axe de rotation, là où la vitesse tangentielle de l'arbre primaire 33 est nulle. Le liquide de refroidissement 50 remplit progressivement la cavité 40. Le système de régulation associé à la vanne 15 suppose que la température de la paroi 62 de la cavité 40 de l'arbre primaire 33 est supérieure à la température du liquide de refroidissement traversant la buse 49. Il est également défini qu'au moment de l'ouverture de la vanne 15, la température de la paroi 62 est supérieure à la température d'évaporation du liquide du refroidissement 50 à la pression de fonctionnement du condenseur 13. Ainsi, le liquide de refroidissement 50 s'évapore au contact de la paroi 62 de la cavité 40.

[0080] Le liquide de refroidissement 50 contenu dans la cavité tournante 40 de l'arbre primaire 33 présente une surface en forme de paraboloïde dont la forme dépend de la vitesse de rotation du rotor 31 et du diamètre interne de la cavité 40. Au-delà d'une certaine vitesse de rotation, le liquide 50 peut être éjecté de la cavité 40 par effet centrifuge. Ce phénomène projette des gouttes de liquide à grande vitesse en dehors du rotor 33 ce qui peut causer une usure prématurée des parois recevant l'impact de ces

gouttes. De plus, l'éjection du liquide 50 limite la performance du refroidissement par évaporation puisqu'une fraction du liquide 50 injecté est évaporé, le reste étant dispersé dans le carter moteur 45. Afin de retenir le liquide de refroidissement 50 dans la cavité 40 pendant sa montée en température jusqu'au point d'évaporation, un rétreint 61 ou 66 (voir figures 6 et 7) est placé à l'entrée de l'ouverture de la cavité 40. Les dimensions du rétreint 61 ou 66 sont calculées pour autoriser le passage d'un jet liquide et d'un dégagement de vapeur au travers de la même section. Il est possible de réaliser un rétreint rectiligne 61 tel que présenté dans les figures 5 et 7, ou un rétreint progressif 66 en forme de cône tel que présenté dans la [fig.6]. Le rétreint progressif conique 66 permet de limiter les efforts mécaniques du liquide 50 centrifugé sur le rétreint. Plus généralement, dans des modes de réalisation, l'ouverture de la cavité formée dans l'arbre est partiellement obturée par un rétreint dont la surface de la section au niveau de l'ouverture de la cavité est inférieure à la surface de la section à l'intérieur de la cavité. Cet avantage est valable aussi bien pour un rotor 31 dont l'axe de rotation est placé à la verticale, à l'oblique ou à l'horizontale.

[0081] En fonctionnement nominal et avant l'injection d'un liquide de refroidissement 50, la pression dans le carter moteur 45 est équivalente à la plus haute pression du compresseur 12, c'est-à-dire la pression en sortie de l'étage de compression 34b qui est refoulé vers le condenseur 13. Une fois le liquide de refroidissement 50 évaporé, il se dilate dans l'enceinte formée par le carter moteur 45. Chaque volume de liquide 50 évaporé augmente la pression de vapeur dans cet espace. Les vapeurs sont alors évacuées vers des zones de plus faibles pression, en l'occurrence la pression en sortie de l'étage de compression 34a. Ainsi, la pression dans le carter moteur 45 est supérieure à celle du condenseur 13. Les vapeurs possèdent alors deux chemins de circulation pour atteindre la veine de sortie 43 du compresseur 12.

[0082] Le premier chemin passe dans l'entrefer 55, entre le stator électrique 46 et le rotor électrique d'entraînement 39. Cependant, la section de passage n'est pas suffisante face aux débits volumiques importants de gaz produit par l'évaporation du liquide de refroidissement qui permet d'extraire des calories du rotor. Un second chemin parcourant le stator électrique 46 comprenant des canaux 47 réalisés entre le carter moteur 45 et le stator électrique 46 permet également d'assurer un refroidissement du stator électrique 46 lors du passage des vapeurs au contact de la surface du stator électrique 46. Lorsque les deux chemins se rejoignent de l'autre côté du stator électrique 46, près des roulements 37a et 37b, les vapeurs passent au travers d'au moins un canal 52 dans le carter moteur 45 en périphérie de l'alésage du carter moteur 45 intégrant les roulements à billes 37a et 37b. La section totale de ces canaux 52 est équivalente à la section de passage de l'entrefer 55 et des canaux 47 de passage à travers le stator électrique 46. Les vapeurs se retrouvent au dos de l'étage de compression 34b et

passent ensuite dans le conduit de la veine de sortie 43 à travers l'interstice 54, défini comme le jeu entre le diamètre de sortie de l'étage de compression 34b et le diamètre d'alésage de la volute 53. Les vapeurs du liquide de refroidissement sortent à des températures plus faibles que les vapeurs issues de l'étage de compression 34a, ce qui a pour effet de réduire la température globale du mélange gazeux dans la veine de sortie 43 et de diminuer les dimensions du condenseur. Dans la [fig.3], on a représenté trois canaux 47 de passage à travers le rotor électrique 46. Bien entendu, le nombre de tels canaux peut être supérieur ou inférieur à trois.

[0083] On observe, en [fig.4], une configuration alternative de sortie des vapeurs de refroidissement. La [fig.4] représente, en haut, une section axiale et, en bas, une section transversale A-A repérée dans la partie haute. Par rapport à la configuration illustrée en [fig.3], au lieu de faire passer les vapeurs du liquide de refroidissement dans des canaux entre le stator électrique 46 et le rotor électrique d'entraînement 39, dans des canaux 47 et à travers l'interstice 54, ces vapeurs sont évacuées directement vers la veine de sortie 43 par l'intermédiaire d'un piquage de sortie 56 réalisé dans le carter moteur 45, et un piquage d'entrée 57 réalisé dans la volute 53. Une conduite 58 assure la connexion entre les deux piquages de manière hermétique.

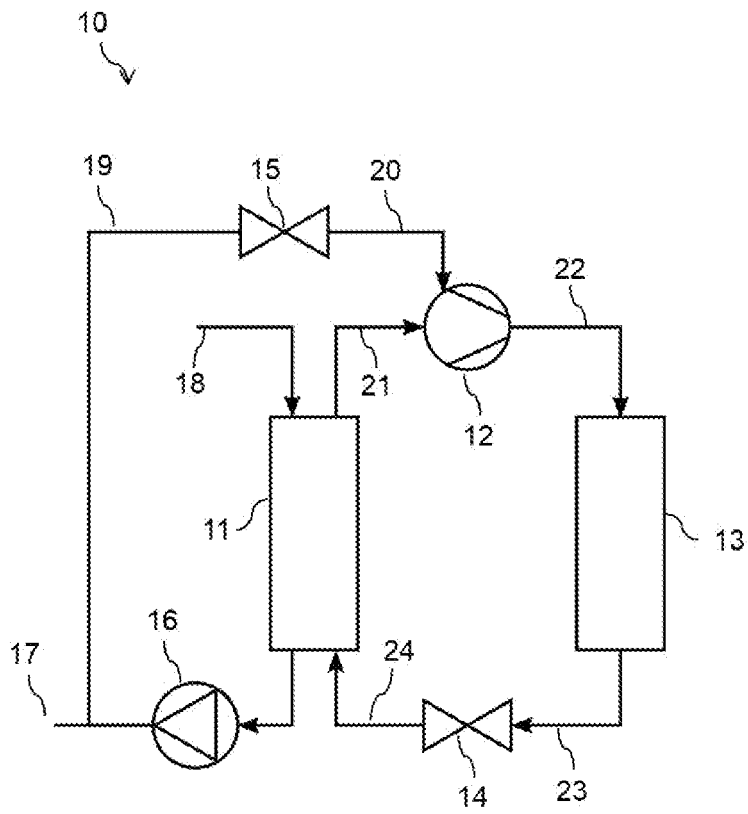
## Revendications

- [Revendication 1] Dispositif de refroidissement d'un rotor d'une machine tournante, caractérisé en ce qu'il comporte :
- dans un assemblage rotor (31) comportant le rotor et tournant avec le rotor, au moins une cavité ouverte (40) présentant une ouverture unique débouchant autour de l'axe de rotation du rotor et
  - en regard de l'ouverture unique de la cavité (40), un injecteur (49) de liquide de refroidissement ;
- l'ouverture unique de la cavité formant, à la fois, l'entrée du liquide de refroidissement injecté par l'injecteur et l'évacuation du fluide de refroidissement quittant la cavité sous forme de vapeur.
- [Revendication 2] Dispositif de refroidissement selon la revendication 1, qui comporte un système de régulation de la quantité de liquide (50) injecté dans la cavité (40) par l'injecteur (49), configuré pour que la quantité de liquide injectée soit variable en fonction de la puissance consommée par le moteur, de la vitesse de rotation du compresseur et/ou la température des composants.
- [Revendication 3] Dispositif de refroidissement selon la revendication 2, dans lequel le système de régulation est configuré pour que la quantité de liquide (50) injectée dans la cavité (40) par l'injecteur (49) soit nulle quand la température de la paroi (62) de la cavité est inférieure à la température d'évaporation du liquide.
- [Revendication 4] Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel l'assemblage rotor (31) comporte un arbre (33) et un rotor électrique (39) entouré par un stator électrique (46), la cavité (40) étant formée, au moins, dans l'arbre (33).
- [Revendication 5] Dispositif selon la revendication 4, dans lequel la cavité (40) formée dans l'arbre (33) s'étend sur toute la longueur du rotor électrique jusqu'à au moins un palier (37).
- [Revendication 6] Dispositif selon l'une des revendications 4 ou 5, dans lequel le stator électrique (46) est parcouru, parallèlement à l'axe de rotation du rotor, par au moins un canal (47) configuré pour véhiculer au moins une partie de la vapeur obtenue par évaporation du liquide de refroidissement dans la cavité (40) de l'arbre (33).
- [Revendication 7] Dispositif selon l'une des revendications 4 à 6, dans lequel l'entrefer (55) entre le rotor électrique (39) et le stator électrique (46) est configuré pour véhiculer au moins une partie de la vapeur obtenue par

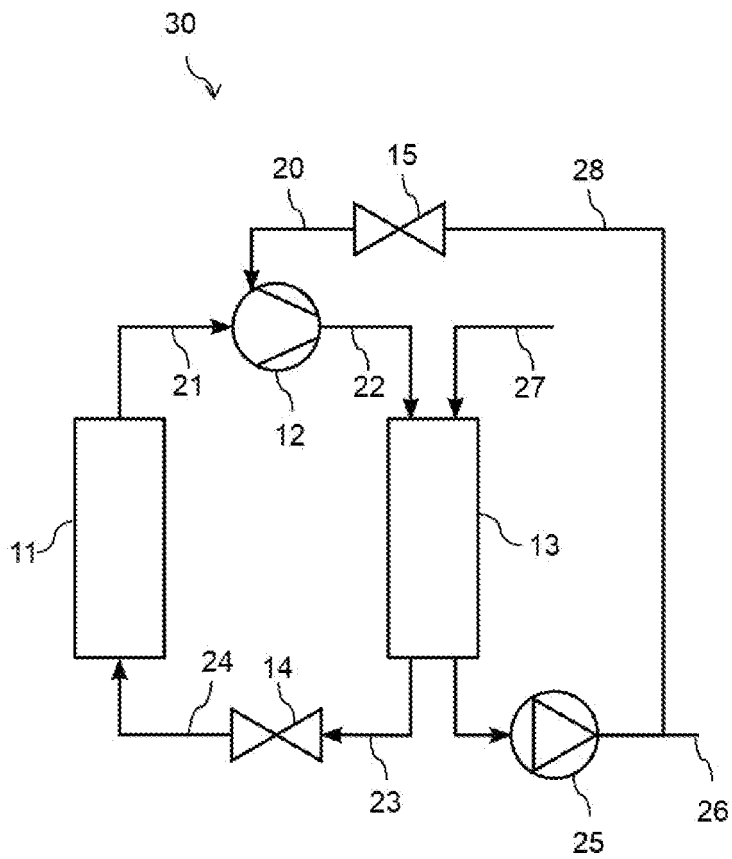
évaporation du liquide de refroidissement dans la cavité (40) de l'arbre (33).

- [Revendication 8] Dispositif selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel l'ouverture de la cavité (40) formée dans l'arbre est partiellement obturée par un rétreint (61, 66) dont la surface de la section au niveau de l'ouverture de la cavité est inférieure à la surface de la section à l'intérieur de la cavité.
- [Revendication 9] Dispositif selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel le rotor (39) présente un axe de rotation sensiblement vertical et la cavité (40) ouverte formée dans le rotor est orientée vers le haut.
- [Revendication 10] Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel le fluide de refroidissement (50) est de l'eau.
- [Revendication 11] Machine tournante comportant un compresseur et un dispositif de refroidissement selon l'une des revendications 1 à 10, le fluide de refroidissement (50) étant le même fluide que le fluide de travail comprimé par le compresseur.
- [Revendication 12] Machine selon la revendication 11, dans laquelle un canal (52) est formé dans un carter de moteur (45) pour véhiculer au moins une partie de la vapeur obtenue par évaporation du liquide de refroidissement dans la cavité (40) de l'arbre (33), et un interstice (54) est ménagé entre la volute (53) et le dernier étage du compresseur (34b), cet interstice (54) étant configuré pour véhiculer cette partie de la vapeur.

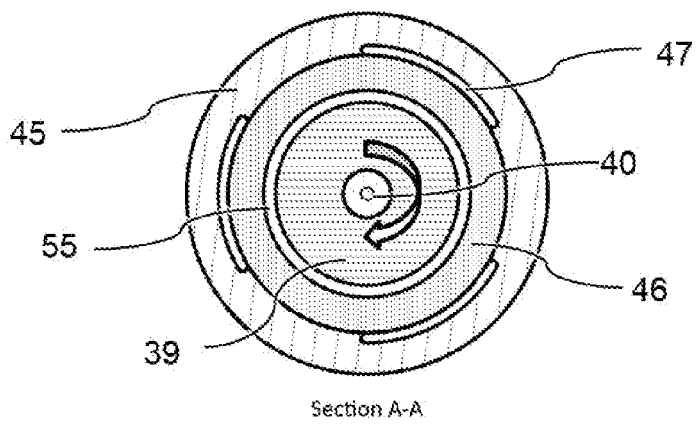
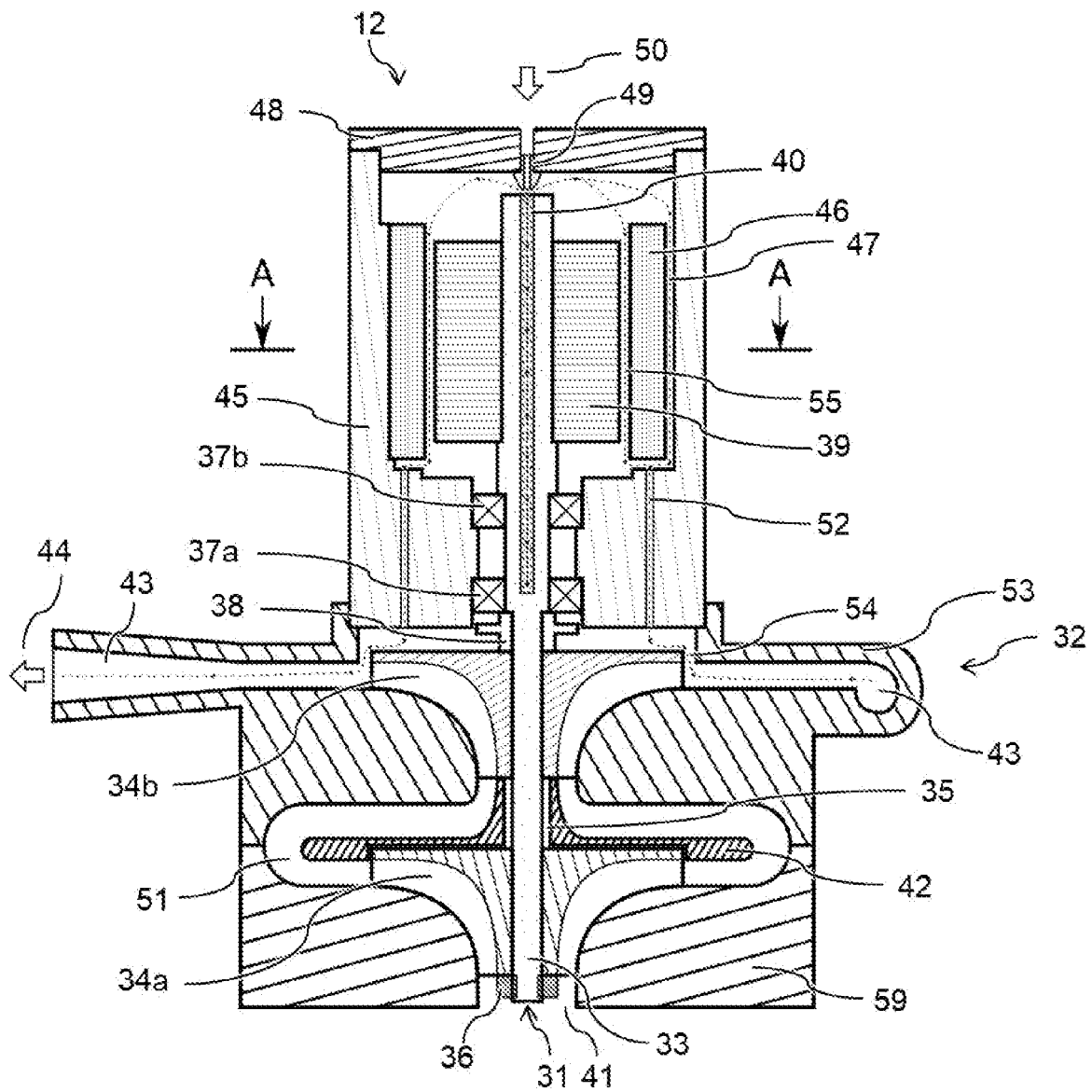
[Fig. 1]



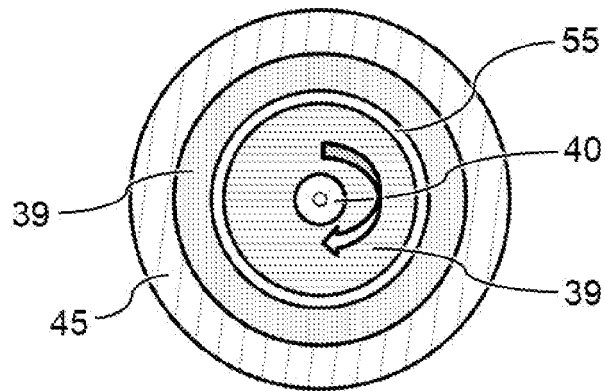
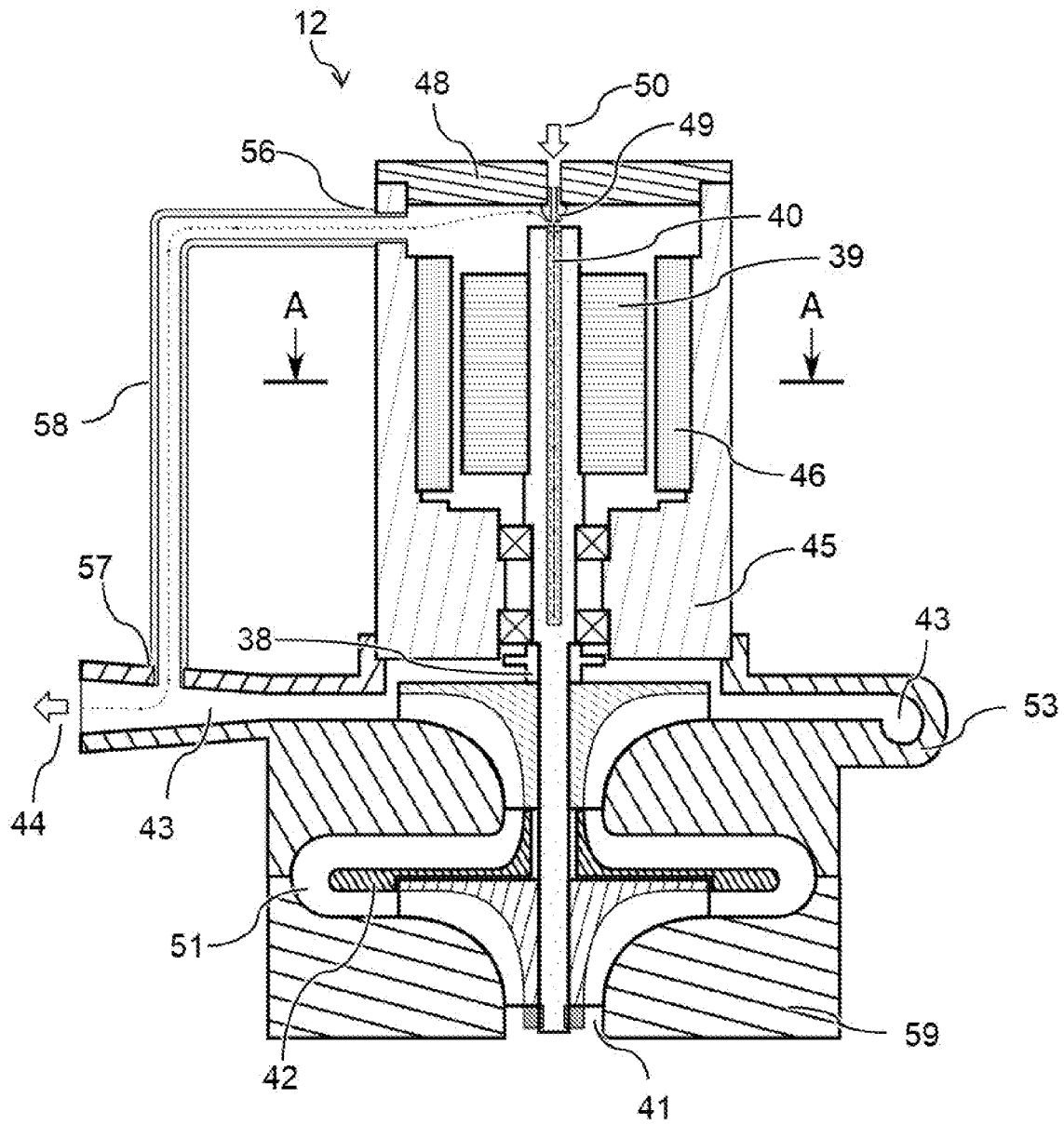
[Fig. 2]



[Fig. 3]

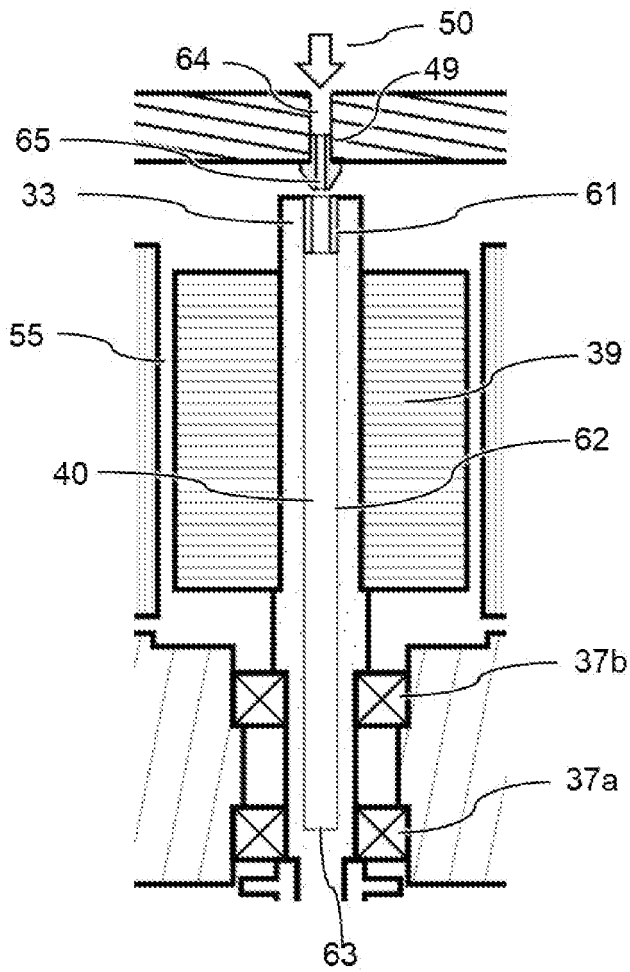


[Fig. 4]

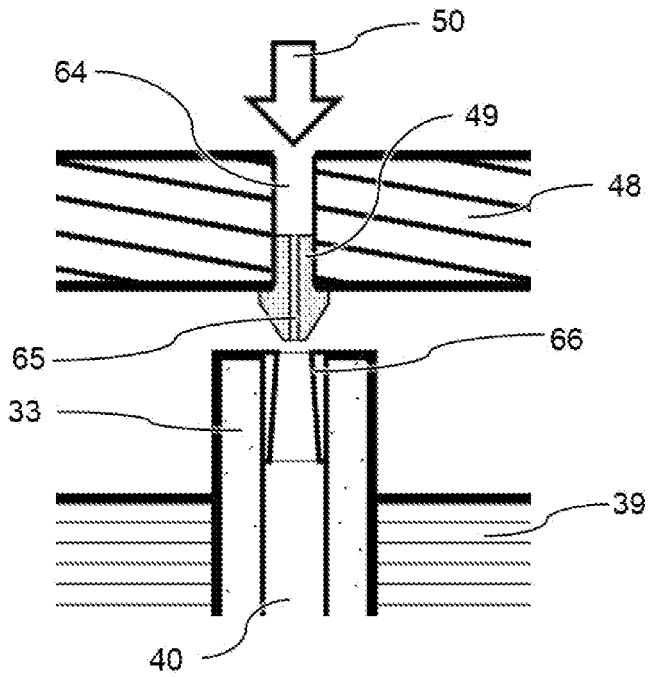


Section A-A

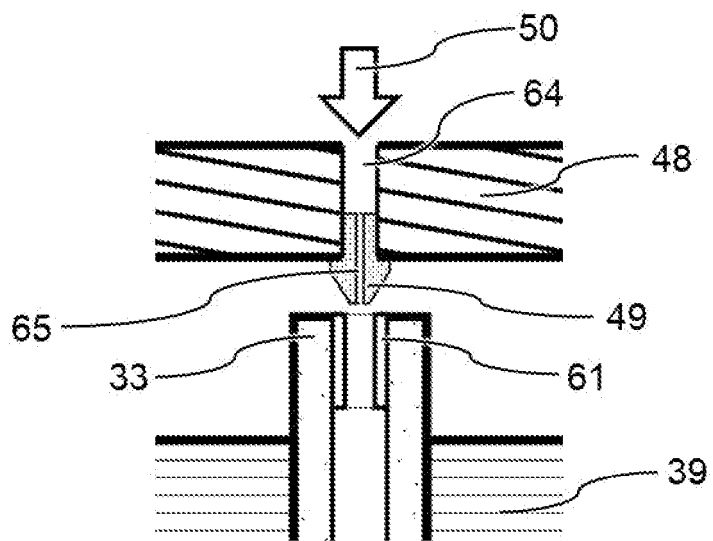
[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]



# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN  
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

JP H10 336968 A (DENSO CORP)  
18 décembre 1998 (1998-12-18)

US 2010/006262 A1 (WELCH ANDREW M [US] ET  
AL) 14 janvier 2010 (2010-01-14)

JP 2001 095205 A (HITACHI LTD)  
6 avril 2001 (2001-04-06)

WO 2008/045413 A2 (AAF MCQUAY INC [US];  
DOTY MARK C [US] ET AL.)  
17 avril 2008 (2008-04-17)

JP 2008 082623 A (EBARA CORP)  
10 avril 2008 (2008-04-10)

CN 105 356 637 A (NANJING CIGU LTD CORP)  
24 février 2016 (2016-02-24)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN  
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND  
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT