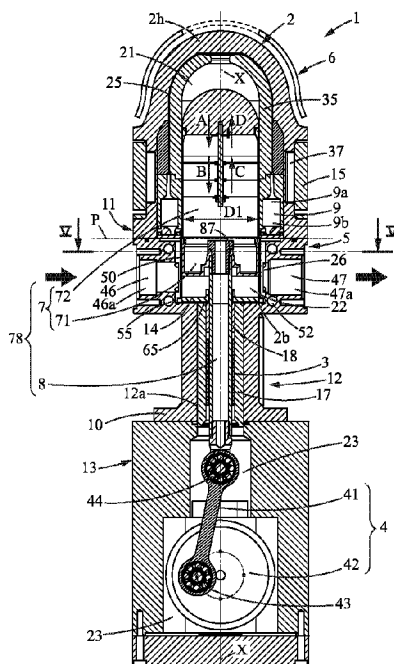




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2014/06/16
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2014/12/24
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2021/01/26
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2015/12/17
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2014/051476
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2014/202885
(30) Priorité/Priority: 2013/06/18 (FR13 55745)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *F02G 1/053* (2006.01)
(72) Inventeurs/Inventors:
JOFFROY, JEAN-MARC, FR;
BIDAR, MARTIN, FR;
DANDO, LUC, FR
(73) Propriétaire/Owner:
BOOSTHEAT, FR
(74) Agent: NORTON ROSE FULBRIGHT CANADA
LLP/S.E.N.C.R.L., S.R.L.

(54) Titre : DISPOSITIF DE COMPRESSION THERMIQUE DE FLUIDE GAZEUX
(54) Title: DEVICE FOR THERMAL COMPRESSION OF A GASEOUS FLUID



(57) Abrégé/Abstract:

Dispositif de compression de fluide gazeux, comprenant une première chambre (21), couplée thermiquement à une source chaude (6), une deuxième chambre (22) couplée thermiquement à une source froide (5), un piston (7) mobile déplacé par une tige (8), un échangeur régénératif (9) mettant en communication fluide les première et deuxième chambres, dans lequel la tige est agencée dans une douille cylindrique (17) et guidée en translation axiale par un système de guidage linéaire (3) pour guider le piston sans contact par rapport à la chemise, dans lequel une bague d'étanchéité (18) fixée dans la douille cylindrique entoure la tige avec un jeu radial très petit, pour limiter le passage du fluide gazeux de passer le long de la tige mobile. De plus il est divulgué un carter froid monobloc avec des perçages d'usinage, un écran thermique dans le carter chaud, et un système d'auto-entraînement avec un moyen de rappel élastique.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
24 décembre 2014 (24.12.2014)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2014/202885 A1(51) Classification internationale des brevets :
F02G 1/053 (2006.01)(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2014/051476(22) Date de dépôt international :
16 juin 2014 (16.06.2014)

(25) Langue de dépôt : français

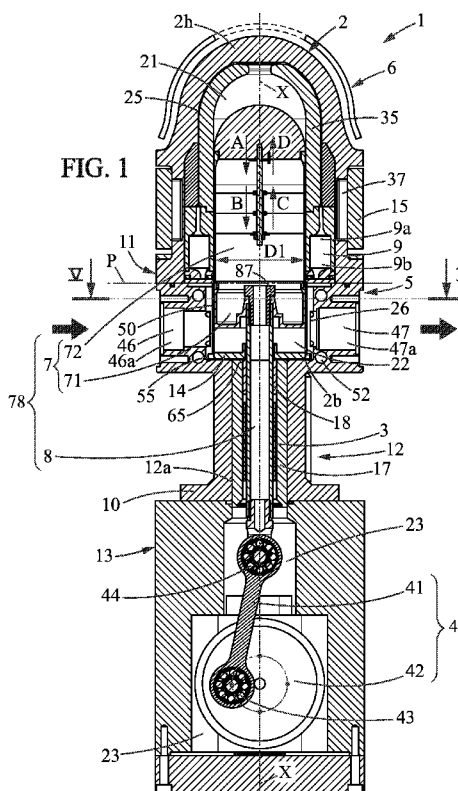
(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
13 55745 18 juin 2013 (18.06.2013) FR(71) Déposant : BOOSTHEAT [FR/FR]; 14, Boulevard
Charles Péguy, F-30319 Ales (FR).(72) Inventeurs : JOFFROY, Jean-Marc; Le Saoulas, F-
81500 Cabanes (FR). BIDAR, Martin; 17 rue de Ve-
nasque Résidence Les Pépinières Bâtiment 3, F-31400
Toulouse (FR). DANDO, Luc; Salbaget, F-09240 Alzen
(FR).(74) Mandataire : CABINET PLASSERAUD; 52 rue de la
Victoire, F-75440 Paris Cedex 09 (FR).(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : DEVICE FOR THERMAL COMPRESSION OF A GASEOUS FLUID

(54) Titre : DISPOSITIF DE COMPRESSION THERMIQUE DE FLUIDE GAZEUX



(57) Abstract : The invention relates to a device for compressing a gaseous fluid, including a first chamber (21) thermally coupled with a hot source (6), a second chamber (22) thermally coupled with a cold source (5), a movable piston (7) moved by a rod (8), and a regenerating exchanger (9) establishing fluid communication between the first and second chambers, wherein the rod is arranged in a cylindrical socket (17) and guided in axial translation by a linear guiding system (3) such as to guide the piston without contact relative to the sleeve, wherein a sealing ring (18) attached to the cylindrical socket surrounds the rod with a very low radial clearance, in order to limit the passage of the gaseous fluid along the mobile rod. The invention also discloses an integral cold casing having machined boreholes, a thermal screen in the hot casing, and a self-driving system with a resilient return means.

(57) Abrégé : Dispositif de compression de fluide gazeux, comprenant une première chambre (21), couplée thermiquement à une source chaude (6), une deuxième chambre (22) couplée thermiquement à une source froide (5), un piston (7) mobile déplacé par une tige (8), un échangeur régénératif (9) mettant en communication fluide les première et deuxième chambres, dans lequel la tige est agencée dans une douille cylindrique (17) et guidée en translation axiale par un système de guidage linéaire (3) pour guider le piston sans contact par rapport à la chemise, dans lequel une bague d'étanchéité (18) fixée dans la douille

[Suite sur la page suivante]

WO 2014/202885 A1

MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des
revendications, sera republiée si des modifications sont
reçues (règle 48.2.h))

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

cylindrique entoure la tige avec un jeu radial très petit, pour limiter le passage du fluide gazeux de passer le long de la tige mobile. De plus il est divulgué un carter froid monobloc avec des perçages d'usinage, un écran thermique dans le carter chaud, et un système d'auto-entraînement avec un moyen de rappel élastique.

Dispositif de compression thermique de fluide gazeux

La présente invention est relative aux dispositifs de compression de fluide gazeux, et traite en particulier des compresseurs thermiques régénératifs.

5 **Contexte et Art Antérieur**

Plusieurs solutions techniques existent déjà pour réaliser la compression d'un gaz à partir d'une source de chaleur.

10 Dans des compresseurs thermiques tels que ceux décrits dans les documents US2,157,229 et US3,413,815, la chaleur reçue est directement transmise au fluide à comprimer, ce qui permet d'éviter tout élément mécanique pour les étapes de compression et de refoulement.

15 Dans les documents US2,157,229 et US3,413,815, un piston déplaceur est monté mobile dans une enceinte pour déplacer le fluide alternativement vers la source chaude ou vers la source froide. Ce piston déplaceur est relié à une tige de commande. Le piston déplaceur et/ou la tige de commande associée sont sujets à des frottements et à une
20 usure, ce qui limite la durée de vie de tels compresseurs ou qui nécessite une maintenance régulière. De plus, l'efficacité des échanges thermiques au sein du compresseur ainsi que le principe de commande du déplaceur peuvent encore être améliorés.

25 Il est donc apparu un besoin en premier lieu d'augmenter la durée de vie et/ou de réduire les besoins de maintenance. En second lieu, le besoin d'améliorer le rendement par une meilleure efficacité des échanges thermiques au sein du compresseur est un souci constant. De
30 plus, il est souhaitable de perfectionner la commande du déplacement du piston déplaceur. Enfin, il faut répondre au besoin de pouvoir fabriquer les pièces essentielles du compresseur à un coût attractif. Tous ces besoins concourent à l'objectif de proposer un compresseur
35 thermique régénératif ayant un rendement amélioré et qui

soit en même temps compétitif et facile à fabriquer industriellement.

A cet effet, il est en premier lieu proposé un dispositif de compression de fluide gazeux comprenant :

- 5 - une entrée de fluide gazeux à comprimer et une sortie de fluide gazeux comprimé,
- une enceinte de travail renfermant du fluide gazeux,
- une première chambre, couplée thermiquement à une source chaude adaptée pour apporter des calories au fluide
- 10 gazeux,
- une deuxième chambre couplée thermiquement à une source froide pour transférer des calories du fluide gazeux vers la source froide,
- un piston monté mobile dans une chemise cylindrique
- 15 selon une direction axiale et séparant la première chambre et la deuxième chambre à l'intérieur de ladite enceinte de travail, le piston étant déplacé par une tige solidaire du piston,
- un échangeur régénérateur et des canaux de
- 20 communication mettant en communication fluide les première et deuxième chambres,
- dans lequel la tige est agencée dans une douille cylindrique solidaire de l'enceinte, et la tige est guidée en translation axiale par un système de guidage linéaire
- 25 afin de guider le piston sans contact par rapport à la chemise,
- caractérisé en ce qu'une bague d'étanchéité cylindrique fixée dans la douille cylindrique entoure la tige avec un jeu radial compris entre 2 et 20 μm , *pour limiter fortement*
- 30 *le passage de fluide gazeux le long de la tige mobile depuis et vers une chambre auxiliaire.*

Grâce à ces dispositions, il est possible de diminuer significativement les frottements, tant au niveau du piston par rapport à la chemise qu'au niveau de la tige par

35 rapport à ses moyens d'étanchéité associés, et ceci en

maintenant une performance d'étanchéité compatible avec le cycle alterné des pressions mis en jeu. On peut obtenir ainsi une diminution de l'usure des pièces en mouvement et diminuer la fréquence des opérations de maintenance voire
5 les éliminer complètement. De plus, grâce à la diminution des frottements, on peut obtenir une amélioration du rendement.

Dans divers modes de réalisation de l'invention, on peut éventuellement avoir recours en outre à l'une et/ou à
10 l'autre des dispositions suivantes.

Selon un aspect de l'invention, le piston peut présenter un bord extérieur disposé de manière adjacente à la chemise et le bord extérieur du piston est guidé sans frottement dans la chemise avec un jeu fonctionnel entre le
15 bord extérieur et la chemise compris entre 5um et 30um, de préférence voisin de 10um ; moyennant quoi on obtient une absence de contact et une absence de frottement tout en assurant une étanchéité satisfaisante en mode dynamique au cours du cycle alterné.

Selon un autre aspect de l'invention, le système de guidage linéaire peut être un dispositif cylindrique à
20 **billes** ; grâce au roulement des billes, ceci est une solution performante pour le guidage de précision de la tige avec des frottements négligeables.

Selon un autre aspect de l'invention, le **système de guidage linéaire** peut comprendre des paliers lisses en matériau de type PTFE ; ce qui est une solution performante pour le guidage de précision de la tige et qui présente des
25 frottements très faibles et une usure négligeable.

Selon un autre aspect de l'invention, le dispositif de compression est dépourvu de lubrification liquide ; moyennant quoi le dispositif est simple et on évite certains problèmes inhérents à l'utilisation de lubrifiants comme des pollutions ou des mélanges avec le fluide de
30 travail.
35

Selon un autre aspect de l'invention, la tige peut être refroidie par un dispositif de déflexion du flux de fluide gazeux refroidi ; moyennant quoi on évite un échauffement de la tige et on limite le transfert de calories dû à la
5 tige de la zone chaude vers la zone froide.

Selon un autre aspect de l'invention, la tige peut présenter un diamètre supérieur au quart du diamètre du piston ; de sorte que l'action du différentiel de pression est suffisant pour actionner le cycle du dispositif d'auto-
10 entraînement ; de plus la qualité du guidage est améliorée.

Selon un autre aspect de l'invention, le dispositif peut comprendre en outre un dispositif d'auto-entraînement agissant sur une extrémité de la tige et comprenant une bielle reliée à la tige et un volant inertiel relié à la
15 bielle. De sorte que le fonctionnement du dispositif en régime établi est autonome.

Selon un autre aspect de l'invention, le dispositif d'auto-entraînement est disposé dans la chambre auxiliaire remplie du fluide gazeux, la bague d'étanchéité étant
20 interposée entre la deuxième chambre et la chambre auxiliaire ; de sorte que l'étanchéité globale du dispositif muni de son système d'auto-entraînement est améliorée.

Selon un autre aspect du dispositif divulgué, qui est
25 indépendant du guidage et de l'étanchéité de la tige, le rendement est aussi amélioré par la limitation des échanges thermiques conductifs directs entre la chambre chaude et la chambre froide.

En effet, il est proposé un dispositif de
30 compression de fluide gazeux comprenant :

- une entrée de fluide gazeux à comprimer et une sortie de fluide gazeux comprimé,
- une enceinte de travail renfermant du fluide gazeux, de forme générale de révolution autour d'un axe et
35 délimitée par un premier carter et un deuxième carter

assemblés ensemble,

l'enceinte de travail comprenant :

- une première chambre, couplée thermiquement à une source chaude adaptée pour apporter des calories au fluide gazeux via le premier carter,

- une deuxième chambre couplée thermiquement à une source froide pour transférer des calories du fluide gazeux vers la source froide via le deuxième carter,

- un piston monté mobile dans une chemise cylindrique selon une direction axiale et séparant la première chambre et la deuxième chambre, le piston pouvant être déplacé par une tige reliée au piston, selon un mouvement de va-et-vient axial,

- un échangeur régénérateur disposé autour du piston et mettant en communication fluide les première et deuxième chambres,

- un canal de communication chaud reliant au moins un orifice de la première chambre avec l'échangeur régénérateur, ce canal de communication chaud ayant une forme générale de révolution autour de l'axe, et dans lequel un premier écran thermique, formé par une portion cylindrique annulaire thermiquement isolante, est interposé entre le piston et le canal de communication chaud, le canal de communication chaud étant formé par un interstice radial formé entre le premier écran thermique et le premier carter.

De sorte qu'on limite les effets de conduction thermique, notamment dans une portion axiale intermédiaire, et que la grande majorité des échanges thermiques entre les portions chaude et froide transitent par le flux physique de convection du fluide de travail.

Selon un aspect complémentaire, le premier carter est métallique et présente une zone annulaire isolante sous forme de portion annulaire axiale de plus faible conduction thermique ; ce qui limite encore plus les effets de

conduction thermique selon la direction axiale.

Selon un aspect complémentaire, la portion annulaire de plus faible coefficient de conduction thermique est enserrée dans une frette ; ceci permet d'obtenir une
5 robustesse mécanique satisfaisante.

Selon un aspect complémentaire, la portion annulaire de plus faible coefficient de conduction thermique (formant la zone annulaire isolante) est obtenue intégralement dans le premier carter en ménageant une pluralité d'évidements
10 (rainures) répartis tout autour de l'écran thermique ; solution simple à géométrie interne maîtrisée.

Selon un aspect complémentaire, l'interstice formant le canal de communication chaud peut présenter une largeur inférieure à 4 millimètres, voire inférieure à 2
15 millimètres ; de sorte que le volume que représente le canal de communication chaud est très limité, et ainsi le volume des gaz chauds comprenant la première chambre et les canaux chauds du fluide de travail jusqu'au régénérateur, lorsque le piston est au point le plus haut, est inférieur
20 à 15% du volume balayé par le piston entre le point le plus bas et le point le plus haut.

Selon un aspect complémentaire, le premier carter a une extrémité en forme de dôme hémisphérique, ainsi que la partie supérieure de l'écran thermique, ainsi que la partie
25 supérieur du piston ; ce qui est une forme optimale pour résister aux efforts de pression.

R27Selon un aspect complémentaire, le piston peut comprendre une partie supérieure de faible conduction thermique ; cela contribue à la limitation des flux
30 thermiques conduits de la partie chaude vers la partie froide.

Selon un aspect complémentaire, le premier carter et le deuxième carter sont assemblés l'un à l'autre directement sans pièce intermédiaire ; ce qui est une solution simple
35 et robuste ;

Selon un aspect complémentaire, le premier carter comprend une première collerette de renforcement agencée entre la portion supérieure en forme de dôme et la zone de manchon isolant et une deuxième collerette de renforcement pour servir de flasque de fixation au deuxième carter ; ceci contribue à la robustesse mécanique du premier carter.

Selon un autre aspect du dispositif divulgué, qui est indépendant du guidage et de l'étanchéité de la tige et de la limitation des effets de conduction thermique axiale déjà évoqués ci-dessus, la deuxième chambre et les canaux froids du fluide de travail sont réalisés dans une seule pièce (appelée ici deuxième carter, ou 'pièce structurelle froide' ou 'cooler'), les canaux étant réalisés sous formes de perçages obtenus par usinage.

En effet, il est proposé un dispositif de compression de fluide gazeux comprenant :

- une entrée de fluide gazeux à comprimer et une sortie de fluide gazeux comprimé,
- une enceinte de travail renfermant du fluide gazeux, délimitée par un premier carter et un deuxième carter assemblés ensemble,

l'enceinte de travail comprenant :

- une première chambre, couplée thermiquement à une source chaude adaptée pour apporter des calories au fluide gazeux,
- une deuxième chambre couplée thermiquement à une source froide pour transférer des calories du fluide gazeux vers la source froide via le deuxième carter,
- un piston monté mobile dans une chemise cylindrique selon une direction axiale et séparant la première chambre et la deuxième chambre, le piston pouvant être déplacé par une tige reliée au piston, selon un mouvement de va-et-vient axial,
- un échangeur régénérateur disposé autour du piston et mettant en communication fluide les première et deuxième

chambres,

- au moins un canal de communication froid reliant au moins la deuxième chambre à l'échangeur régénérateur, ce canal de communication froid comprenant une pluralité de
5 perçages axiaux disposés dans le deuxième carter autour de la deuxième chambre.

De la sorte, on obtient les conduits du canal de communication froid par usinage d'une pièce massive, ce qui réduit le nombre de pièces nécessaire et réduit aussi les
10 volumes morts dans la partie froide.

Selon un aspect complémentaire, des premiers canaux froids auxiliaires conduisant le fluide de couplage de la source froide s'étendent parallèlement à la direction axiale, et des seconds canaux froids auxiliaires s'étendent
15 perpendiculairement à la direction axiale et servent de collecteur aux premiers canaux froids auxiliaires en s'y raccordant ; l'échangeur thermique est ainsi facilement obtenu par la proximité des canaux auxiliaires avec le canal froid du fluide de travail.

20 Selon un aspect complémentaire alternatif, tous les premiers canaux auxiliaires conduisant le fluide de couplage de la source froide s'étendent perpendiculairement à la direction axiale ; ce qui est industriellement facile à usiner et ce qui dispense d'avoir à bouchonner certains
25 conduits ;

Selon un aspect complémentaire, le deuxième carter 12 comprend une cavité cylindrique adapté pour recevoir la partie basse du piston et une gorge circulaire agencé à la base de la cavité cylindrique et qui sert de collecteur
30 inférieur en reliant la sortie inférieure des perçages ; on obtient ainsi une limitation des volumes morts par le faible volume du collecteur des canaux froids;

Selon un aspect complémentaire, un déflecteur est disposé en partie basse de la cavité cylindrique, ledit
35 déflecteur délimite avec le fond de la deuxième chambre un

évidemment en forme de disque qui fait partie du canal de communication froid; moyennant quoi on évite un échauffement de la tige et on limite le transfert de calories dû à la tige de la zone chaude vers la zone froide

5 Selon un aspect complémentaire, le deuxième carter peut être une pièce monobloc incluant la portion inférieure de la chemise cylindrique, le canal de communication froid et les différents canaux froids auxiliaires, ainsi que les entrées et sorties du fluide de travail ; ce qui réduit le
10 nombre de pièces nécessaires dans la partie froide.

Selon un aspect complémentaire, en outre, le volume des gaz froids comprenant la deuxième chambre et les canaux froids du fluide de travail jusqu'au régénérateur, lorsque le piston est au point le plus bas, est inférieur à 15% du
15 volume balayé par le piston entre le point le plus bas et le point le plus haut ; ce qui contribue à améliorer l'efficacité thermique.

Selon un autre aspect du dispositif divulgué, qui est indépendant du guidage et de l'étanchéité de la tige, de la
20 limitation des effets de conduction thermique axiale déjà et de la structure constructive de la pièce froide évoqués ci-dessus, il est proposé d'améliorer la commande de déplacement du piston.

A cet effet, il est proposé un dispositif de
25 compression de fluide gazeux comprenant :

- une entrée de fluide gazeux à comprimer et une sortie de fluide gazeux comprimé,
- une enceinte de travail renfermant du fluide gazeux,
- une première chambre, couplée thermiquement à une
30 source chaude adaptée pour apporter des calories au fluide gazeux,
- une deuxième chambre couplée thermiquement à une source froide pour transférer des calories du fluide gazeux vers la source froide,
- 35 - un piston monté mobile dans une chemise cylindrique

selon une direction axiale et séparant la première chambre et la deuxième chambre, le piston pouvant être déplacé par une tige reliée au piston, selon un mouvement de va-et-vient axial,

- 5 - un échangeur régénérateur mettant en communication fluide les première et deuxième chambres, le dispositif de compression comprenant un dispositif d'auto-entraînement agissant sur une extrémité de la tige et comprenant d'une part une bielle reliée à la tige et un
10 volant inertiel relié à la bielle, et d'autre part un moyen de rappel élastique à double effet, relié à la tige et ayant un point neutre correspondant à une position au voisinage de la mi-course du piston.

Grâce à ces dispositions, le moyen de rappel élastique
15 stocke cycliquement alternativement une certaine énergie, en parallèle de celle qui est stockée dans le volant inertiel, ce qui permet de réduire les efforts aux paliers de l'ensemble bielle-volant et de dimensionner ce dernier au plus juste.

20 Selon un aspect complémentaire, le moyen de rappel élastique peut comprendre deux ressorts travaillant de façon antagoniste ; on peut ainsi éviter les courses mortes et hystérésis et/ou compenser les dispersions des caractéristiques des ressorts.

25 Selon un aspect complémentaire, le dispositif d'auto-entraînement peut comprendre un moteur couplé magnétiquement au volant inertiel ; ce qui permet de donner une impulsion initiale de démarrage et de réguler ensuite la vitesse de rotation.

30 Selon un aspect complémentaire, le dispositif d'auto-entraînement est disposé dans une chambre auxiliaire dans laquelle règne une pression moyenne qui est la demi-somme des pressions d'admission P1 et de sortie P2 ; on a ainsi des échanges équilibrés et limités avec la deuxième
35 chambre.

Enfin, l'invention vise également un système thermique comprenant un circuit caloporteur et au moins un compresseur selon l'une des caractéristiques précédentes. Le système thermique en question peut être destiné à
5 prélever des calories dans un endroit clos et dans ce cas c'est un système de climatisation ou de réfrigération, mais le système thermique en question peut aussi être destiné à apporter des calories dans un endroit clos et dans ce cas c'est un système de chauffage comme par exemple du
10 chauffage résidentiel ou du chauffage industriel.

D'autres aspects, buts et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante de modes de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemples non limitatifs. L'invention sera également mieux
15 comprise en regard des dessins joints sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique en coupe axiale d'un dispositif de compression de fluide gazeux selon l'invention,
- la figure 2 représente une vue de détail partielle du
20 guidage de la tige,
- la figure 3 représente une vue en perspective d'une pièce froide comprise dans le dispositif de la figure 1,
- la figure 4 représente une vue en perspective des parties chaudes comprises dans le dispositif de la figure
25 1,
- la figure 5 représente une vue en perspective de la pièce froide de la figure 3, avec une coupe transversale et un arraché,
- la figure 6 représente un détail concernant la bague
30 d'étanchéité,
- la figure 7 représente un détail concernant l'interface piston-chemise,
- la figure 8 représente un diagramme du cycle thermodynamique mis en œuvre dans le dispositif, notamment
35 pour le dispositif d'auto-entraînement,

- la figure 9 représente un second mode de réalisation de la pièce froide,

- la figure 10 représente un second mode de réalisation concernant le dispositif d'auto-entraînement,

5 - la figure 11 représente l'assemblage de piston,

- la figure 12 montre une vue partielle premier carter illustrant la portion de plus faible conductivité thermique.

Sur les différentes figures, les mêmes références
10 désignent des éléments identiques ou similaires,

La figure 1 montre un dispositif **1** de compression de fluide gazeux, adapté pour admettre un fluide gazeux (aussi appelé 'fluide de travail') par une entrée ou admission **46**, à une pression **P1** et fournir sur une sortie notée **47** le
15 fluide comprimé à une pression **P2**.

Comme représenté aux figures 1 à 12, le dispositif est architecturé autour d'une direction axiale **X**, qui est de préférence disposée verticalement, mais une autre disposition n'est pas exclue. Selon cet axe peut se
20 déplacer un piston **7** monté mobile au moins dans une chemise cylindrique **50**. Ledit piston sépare hermétiquement deux espaces clos, appelés respectivement première chambre **21** deuxième chambre **22**, ces deux chambres étant incluses dans une enceinte de travail **2** hermétique (excepté les
25 entrées/sorties susmentionnées). L'enceinte de travail **2** présente une extrémité supérieure **2h** et une extrémité inférieure **2b**. Le piston présente une portion supérieure en forme de dôme, par exemple hémisphérique.

L'enceinte de travail **2** est délimitée par un premier
30 carter **11**, agencé en partie supérieure de l'assemblage et en contact thermique avec la source chaude au moins en zone supérieure, et par un deuxième carter **12**, agencé en partie inférieure, et refroidi par la source froide. Selon des termes de langue anglaise, le premier carter **11** peut se
35 nommer 'heater' et le deuxième carter **12** peut se nommer

'cooler'. La chemise cylindrique **50** s'étend à la fois dans le deuxième carter et à l'intérieur du premier carter, au contact d'une pièce appelée 'écran thermique' **35** dont il sera question plus loin.

5 Le premier carter **11** est fabriqué en matière acier inox ou en alliage métallique suffisamment résistant pour subir les températures de la partie chaude. Le deuxième carter **12** est de préférence réalisé en alliage métallique léger, sa température de service étant moins élevée.

10 Le premier carter **11** et le deuxième carter **12** sont dans l'exemple illustré assemblés l'un à l'autre directement sans pièce intermédiaire. Cependant, ils pourraient être assemblés ensemble avec une (voire plusieurs) pièce intermédiaire.

15 La première chambre **21**, dite aussi 'chambre chaude', est agencée au dessus du piston et couplée thermiquement à une source chaude **6** adaptée pour apporter des calories au fluide gazeux. La première chambre est de révolution avec une portion cylindrique de diamètre correspondant au
20 diamètre **D1** du piston et une portion hémisphérique en partie supérieure.

 La source chaude **6** est agencée tout autour de la chambre chaude **21**, et en particulier au contact du premier carter **11**.

25 La deuxième chambre **22**, dite aussi 'chambre froide', est agencée au dessous du piston et couplée thermiquement à une source froide **5** pour transférer des calories du fluide gazeux vers la source froide. La deuxième chambre est de forme générale cylindrique, de diamètre **D1** correspondant au
30 diamètre du piston.

 Autour de la chemise cylindrique **50** est agencé un échangeur régénérateur **9**, du type de ceux utilisés classiquement dans les machines thermodynamiques de type machine Stirling. Cet échangeur **9** (qu'on appellera aussi
35 simplement 'régénérateur' dans la suite) comprend des

canaux fluides de section faible et des éléments de stockage d'énergie thermique et/ou un réseau serré de fils métalliques. Ce régénérateur **9** est agencé à une hauteur intermédiaire entre l'extrémité supérieure **2h** et
5 l'extrémité inférieure **2b** de l'enceinte et présente un coté chaud **9a** vers le haut et un coté froid **9b** vers le bas.

Le coté chaud **9a** est raccordé (mis en communication fluide) avec la première chambre **21**, au moyen d'un canal de communication chaud 25 qui comprend des collecteurs **28**, un
10 passage annulaire **25**, lequel rejoint un orifice **24** situé au sommet de la première chambre 21.

La portion supérieure du passage annulaire **25** permet au fluide de lécher le premier carter 11, dans sa portion supérieure où il est particulièrement chaud au contact de
15 la source chaude (très bon couplage thermique).

Le canal de communication chaud 25 est formé par un interstice radial de faible épaisseur (<4mm, voire <2mm, voire voisin de 1mm) formé entre le premier carter 11 et une pièce comprenant un premier écran thermique. Le premier
20 écran thermique 35, formé par une portion cylindrique annulaire thermiquement isolante, est interposé entre le piston 7 et le canal de communication chaud 25, et par conséquent le fluide de travail ne réchauffe pas les parties latérales du piston.

25 Le premier écran thermique 35 est fabriqué en céramique ou en isolant haute température. Son épaisseur est sensiblement constante dans l'exemple illustré.

La partie cylindrique peut se prolonger au-dessus par une partie hémisphérique avec une épaisseur quasi
30 constante, cette partie hémisphérique étant configurée pour épouser la surface extérieure du piston lorsque ce dernier est en position maximale haute ; au sommet de la portion hémisphérique est aménagé un orifice 24 par lequel passe le flux d'entrée et de sortie de la première chambre 21.

35 Le coté froid **9b** du régénérateur **9** est raccordé (mis en

communication fluide) avec la deuxième chambre **22**, au moyen d'un canal de communication froid qui comprend des collecteurs **27** et canaux froids **26** sous forme de perçages dans le deuxième carter dont la disposition sera précisée plus loin.

Comme il ressort des figures, lorsque le piston se déplace, la somme des volumes des première et deuxième chambres **21,22** est sensiblement constante, à ceci près que le volume occupé par la tige **8** est un peu plus important quand le piston est en position haute. De plus, le volume de fluide de travail contenu dans le régénérateur **9**, les canaux froids **26,27** et le canal de communication chaud **28,25** est constant, et par conséquent le volume total de fluide gazeux dans l'enceinte 2 est quasiment constant.

Selon l'architecture constructive avantageuse retenue, le volume des gaz chauds comprenant la première chambre 21 et les conduites chaudes 25 jusqu'au régénérateur est, lorsque le piston est au point le plus haut, inférieur à 15% du volume balayé par le piston entre le point le plus bas et le point le plus haut, voire même inférieure à 10 %.

De même, le volume des gaz froids, lorsque le piston est au point le plus bas, qui comprend le volume résiduel de la deuxième chambre 22 et les canaux de communication froid 26, est inférieur à 15% du volume total balayé par le piston, voire même inférieure à 10 %.

Du point de vue de son architecture structurelle, le dispositif comprend :

- le deuxième carter **12** qui délimite la deuxième chambre **22** grâce à la chemise susmentionnée, avec la partie inférieure du piston ; cette pièce est relativement massive, et comprend en outre l'entrée **46** et la sortie **47** de fluide,
- le premier carter **11**, qui délimite la première chambre **21**, grâce à la surface intérieure de l'écran thermique **35** avec la partie supérieure du piston **7h**, et qui comprend une zone de manchon isolant formé par une portion de plus

faible conduction thermique **37**, en vis-à-vis en partie du régénérateur (cf Fig. 12),

- l'écran thermique **35** formant la chemise **50** sur sa surface intérieure et délimitant sur sa surface extérieure la surface radialement intérieure du canal de communication chaud **25**,

- un écran thermique auxiliaire **36**, interposé entre le canal de communication chaud **25** et la portion de plus faible conduction **37** du premier carter,

10 - un assemblage mobile **78** comprenant le piston **7** susmentionné et une tige **8** solidaire du piston ; ladite tige **8** est de section ronde de diamètre **D2** et présente un système de centrage et de fixation **87** sur l'axe du piston ;
- le régénérateur **9** susmentionné, agencé à l'intérieur de la pièce structurelle supérieure **11** et autour de la chemise **50**.

En dessous de la tige **8** est agencé un système de commande du déplacement du piston, lequel est contenu dans un carter auxiliaire **13** qui délimite une troisième chambre **23** ou chambre auxiliaire **23**. Le carter auxiliaire **13** est fixée sur une semelle **10** appartenant au premier carter **11**, au moyen de vis passant par les trous **160**.

De manière optionnelle, le dispositif peut aussi comprendre comme système de commande un dispositif d'auto-entraînement particulier **4** dont il sera question plus loin,

En outre, la deuxième carter **12**, comprend un alésage axial **12a** qui reçoit sans jeu une douille **17** cylindrique dont la surface cylindrique intérieure est usinée avec précision. La douille est montée en force dans l'alésage **12a** de la pièce structurelle inférieure **12**.

Dans cette douille **17** est reçu un système de guidage linéaire **3** qui guide avec précision la tige **8** afin de guider le piston **7** avec précision, de préférence sans contact par rapport à la chemise comme il sera précisé par la suite.

Dans l'exemple illustré, le système de guidage linéaire **3** est un dispositif de cylindrique à billes, de préférence de type fourreau cylindrique **30** à billes **31**. Les billes 31 roulent sur la douille et le fourreau **30** se
5 déplace deux fois moins vite que la tige **8**.

Dans une alternative non représentée, le système de guidage linéaire **3** peut comprendre des paliers lisses en matériau de type PTFE (Poly-tétra-fluor-éthylène).

Concernant la fonction étanchéité par rapport à la
10 tige mobile, on dispose une bague d'étanchéité **18** cylindrique fixée dans la douille cylindrique 17, et distincte du système de guidage ; cette bague d'étanchéité 18 entoure la tige avec un jeu radial **e1** compris entre **2** et **20 µm**, pour limiter fortement le passage du fluide gazeux
15 de passer le long de la tige mobile **8** (cf. Figure 6). De préférence, on visera préférentiellement un jeu radial **e1** compris entre **10 et 15 µm**.

Grâce au guidage de précision de la tige, on obtient en conséquence un guidage de précision du piston, du fait de
20 la fixation rigide du piston sur la tige. Plus précisément, le piston **7** présente un bord extérieur **73,74** disposé de manière adjacente à la chemise 50 et le bord extérieur du piston est guidé sans frottement dans la chemise avec un jeu fonctionnel **e2** entre le bord extérieur de jointure et
25 la chemise compris entre **5µm** et **30µm**, de préférence voisin de **10µm** (cf. Figure 7). Le bord extérieur est de préférence obtenu intégralement de la partie basse **71** du piston mais toute autre solution pourrait convenir.

Grâce à cette géométrie précise, on obtient une
30 étanchéité satisfaisante en mode dynamique lors des mouvements de va-et-vient du piston, dont la fréquence de mouvement alternatif est comprise entre quelques Hertz et quelques dizaines voire quelques centaines de Hertz.

De plus, cet agencement permet d'éviter toute usure par
35 frottement ou contact ; on peut ainsi se passer de toute

lubrification liquide de sorte que le dispositif est dépourvu de lubrification liquide.

A la différence d'un compresseur volumétrique, dans le présent compresseur thermique ce sont les échanges thermiques qui déplacent le piston et non la tige et son embiellage. Par conséquent il y a très peu d'efforts radiaux sur la tige et le piston dans le présent compresseur thermique, ce qui permet d'envisager un guidage précis et une absence de frottement comme indiqué plus haut. On arrive ainsi à une durée de vie de plusieurs dizaines de milliers d'heure sans entretien.

Le fluide choisi comme fluide de travail peut être tout fluide adéquat, en particulier tout gaz léger ; ce peut être de l'ammoniac, mais le choix peut se porter sur le CO₂ pour des raisons environnementales.

Selon un exemple d'implémentation de l'invention, la température de la partie froide s'établit au voisinage de 50°C, alors que la température de la partie chaude s'établit au voisinage de 650°C.

Le manchon isolant **37** est obtenu par une pluralité d'évidements **38** séparés par des parois radiales **39** comme illustré à la figure 12, cette alternance d'évidements les deux parois radiales étant reproduite tout autour de la circonférence du premier carter de la partie supérieure du régénérateur 9.

Autour de la zone de manchon isolant thermique, est disposée une frette **15** qui a pour but de renforcer la solidité mécanique du premier carter au niveau de la zone de plus faible conductivité thermique. L'extrémité des parois radiales **39** est contrainte radialement vers l'intérieur par la présence de cette frette **15**, qui peut être montée avec une légère précontrainte et par conséquent la robustesse mécanique de cette portion intermédiaire du premier carter 11 est satisfaisante.

De plus, le premier carter **11** comprend une première

collerette **11a** de renforcement agencée entre la portion supérieure en forme de dôme et la zone de manchon isolant et une deuxième collerette de renforcement **11b** pour servir de flasque de fixation au deuxième carter **12**.

5 On assemble le premier carter **11** au second carter **12** au niveau du plan d'interface P au moyen d'une pluralité de vis qui traversent respectivement les trous **110** en bas de la pièce chaude (collerette **11b** du premier carter **11**) et les trous **112** en haut de la pièce froide, qui peuvent être
10 des trous taraudés.

Le fonctionnement du compresseur est assuré par le mouvement alternatif du piston **7**, ainsi que par l'action d'un clapet d'aspiration **46a** sur l'entrée **46**, d'un clapet anti-retour **47a** de refoulement sur la sortie **47**.

15 Les différentes étapes A,B,C,D, décrites ci-après sont représentées sur les figures 1 et 8.

Etape A.

Le piston, initialement en haut, se déplace vers le bas et le volume de la première chambre **21** augmente alors que
20 volume de la deuxième chambre **22** diminue. De par le fait, le fluide est poussé au travers du régénérateur **9** du bas vers le haut, et se réchauffe au passage. La pression **Pw** augmente de façon concomitante.

Etape B.

25 Lorsque la pression **Pw** dépasse une certaine valeur, le clapet de sortie **47a** s'ouvre et la pression **Pw** s'établit à la pression **P2** de sortie du fluide compressé et du fluide est expulsé vers la sortie (le clapet d'entrée **46a** reste bien sûr fermé pendant ce temps). Ceci se poursuit jusqu'au
30 point mort bas du piston.

Etape C.

Le piston, se déplace maintenant du bas vers le haut et le volume de la deuxième chambre augmente alors que
première volume de la chambre diminue. De par le fait, le
35 fluide est poussé au travers du régénérateur **9** du haut vers

le bas, et se refroidit au passage. La pression **P_w** diminue de façon concomitante. Le clapet de sortie **47a** se ferme en début de montée.

Etape D.

5 Lorsque la pression **P_w** passe en dessous d'une certaine valeur, le clapet d'entrée **46a** s'ouvre et la pression **P_w** s'établit à la pression **P₁** d'entrée de fluide et du fluide est aspiré par l'entrée **46** (le clapet de sortie **47a** reste bien sûr fermé pendant ce temps). Ceci se poursuit jusqu'au
10 point mort haut du piston. Le clapet d'entrée **46a** se fermera dès le début de la descente du piston.

Les mouvements de la tige **8** peuvent être commandés par tout dispositif d'entraînement adéquat agencé dans la chambre auxiliaire **23**. Dans l'exemple illustré, il s'agit
15 d'un dispositif d'auto-entraînement **4** agissant sur une extrémité de la tige. Ce dispositif d'auto-entraînement **4** comprend un volant inertiel **42**, une bielle **41** relié audit volant par une liaison pivot, par exemple un palier à roulement **43**. La bielle **41** est reliée à la tige par une
20 autre liaison pivot, par exemple un palier à roulement **44**.

Dans l'exemple illustré, dispositif d'auto-entraînement **4** est hébergé dans une chambre auxiliaire **23** remplie du fluide gazeux de travail à une pression notée **P_a**. La bague d'étanchéité **18** est interposée entre la deuxième chambre **22**
25 et la chambre auxiliaire **23**. Lorsque le dispositif est en fonctionnement, la pression **P_a** dans la chambre auxiliaire **23** converge vers une pression moyenne sensiblement égale à la demi-somme des pressions mini **P₁** et maxi **P₂**. Lorsque le dispositif est à l'arrêt depuis un certain temps, la
30 pression dans la chambre auxiliaire **P_a** devient égale de la pression régnant dans la deuxième chambre **22**. En effet, en raison du jeu fonctionnel compris entre **2** et **20** μm entre la bague **18** et la tige **8**, une très petite fuite ne permet pas de conserver un différentiel de pression sur le long terme,
35 mais en régime dynamique, cette très petite fuite ne nuit

pas au fonctionnement et reste négligeable.

Lorsque le volant tourne d'un tour, le piston balaye un volume correspondant à la distance entre le point mort et point mort bas, multipliée par le diamètre **D1**.

5 Le diamètre de la tige **D2** est supérieur au quart du diamètre **D1** du piston, de sorte que la pression exercé sur le piston vaut **(Pw-Pa) x D2**.

Le cycle thermodynamique, tel que représenté à la figure 8 fournit un travail positif au dispositif d'auto-
10 entraînement.

Comme illustré sur la Figure 8, les efforts exercés sur le piston fournissent de l'énergie au volant inertiel pendant les étapes **A,B** alors que dans l'étape **C,D** c'est le volant d'inertie qui fournit de l'énergie au train de
15 pistons, sachant que le piston doit à tout moment vaincre les efforts de roulement ou frottement minimes résiduels. Le solde du travail fourni par le cycle complet est positif ; il en résulte que le déplacement de va-et-vient du piston **7** peut être auto-entretenu par ledit système
20 d'entraînement **4**.

Le travail d'auto-entraînement est proportionnel à la section de la tige et par conséquent la section de la tige sera choisie de manière à générer suffisamment de travail. On choisira par exemple un diamètre **D2** au moins égal à un
25 quart du diamètre **D1** du piston.

Un moteur électrique (non représenté) est couplé, dans l'exemple ici par des moyens magnétiques, avec le volant inertiel. Ce moteur permet de donner une impulsion initiale pour faire démarrer le cycle. Le moteur sert aussi à
30 réguler la vitesse de cyclage en régime établi. Le couplage magnétique entre le moteur et le volant inertiel permet d'éviter tout problème de joint tournant et de fuite potentielle associée.

De plus, avantageusement selon un aspect optionnel
35 représenté à la figure 10, on dispose en supplément un

rappel élastique **45** à double effet, qui fonctionne en parallèle de l'ensemble bielle-volant susmentionné. Par exemple, ceci peut être formé par un ressort fonctionnant en traction et compression et dont la longueur d'équilibre
5 est choisie pour n'exercer aucun effort à mi-course du cycle.

Le moyen de rappel élastique stocke et restitue cycliquement de l'énergie.

De façon alternative, on peut aussi disposer deux
10 ressorts qui travaillent de façon antagoniste et dont les efforts s'équilibrent à la mi-course du cycle.

Avantageusement, les efforts supportés par l'ensemble bielle-volant sont diminués car une partie des efforts est supporté par le système de rappel élastique.

15 On peut ainsi dimensionner au plus juste les paliers **43,44** ce qui concourt à l'optimisation du mécanisme d'entraînement et l'absence de nécessité de maintenance.

Pour minimiser les transferts thermiques par conduction, le piston est construit en deux parties, comme
20 illustré en particulier à la figure 11, une base **71** avec des caractéristiques géométriques très précises comme indiqué ci-dessus (notamment le bord 73) et une tête **72** qui est réalisée en matériau peu conducteur thermiquement ou en plusieurs étages séparés par des isolants thermiques.

25 De plus, la tige **8** est refroidie par un dispositif de déflexion **14** du flux de fluide gazeux refroidi ; ce dispositif guide le fluide de façon à ce que le fluide gazeux refroidi lèche la tige 8 et la refroidisse.

Le déflecteur **14** se présente comme un disque de
30 diamètre extérieur **D1** avec un orifice central de diamètre un peu supérieur à celui **D2** de la tige (cf Fig 2), de sorte qu'un passage **14a** est ainsi défini, lequel oblige le fluide de travail froid à lécher la tige 8 de manière à refroidir.

Les canaux sont réalisés sous formes de perçages
35 obtenus par usinage dans la pièce structurelle inférieure

11, c'est-à-dire le premier carter ou le 'cooler'. De manière préférée, le premier carter et une pièce monobloc massive comme représentée aux figures 3 et 5.

Les canaux froids **26** du fluide de travail gazeux sont
5 formés à cet endroit par des perçages **16** s'étendent parallèlement à la direction axiale **X** et sont disposés circonférentiellement les uns à côté des autres autour de la deuxième chambre. Lesdits perçages **16** comprennent des perçages de petit diamètre **67** et des perçages de plus grand
10 diamètre **66** dans les zones diamétrales de raccordement de l'entrée **46** et de la sortie **47**.

De plus, des premiers canaux froids auxiliaires **51** conduisant le fluide de couplage de la source froide s'étendent parallèlement à la direction axiale et sont
15 disposées selon un carré en face des trous **160** de la semelle **10**; de plus, d'autres seconds canaux froids auxiliaires **52** s'étendent selon Y1 perpendiculairement à la direction axiale et servent de collecteur aux premiers canaux froids auxiliaires 51 en s'y raccordant (cf Fig 5) ;
20 en outre d'autres seconds canaux froids auxiliaires **53** s'étendent selon Y2 perpendiculairement à X et à Y1.

Les premiers canaux froids auxiliaires **51** et les seconds canaux froids auxiliaires **52** sont également réalisés par des perçages au travers de la pièce massive
25 formée par le premier carter **11**.

De plus, la chambre froide comprend une rainure inférieure **55** de diamètre supérieur au diamètre **D** du piston qui sert de collecteur aux canaux froids **26** (perçages **16**) pour mettre en communication lesdits canaux froids **26** avec
30 le fond **65** de la deuxième chambre **22**, (cf figures 2 et 3).

De plus, selon une solution alternative représentée à la figure 9, on obtient tous les premiers canaux froids auxiliaires **57, 58** par des perçages perpendiculairement à la direction axiale. Une première série **57** de perçages sont
35 disposés selon Y2 les uns au-dessus des autres et passent

au travers du cercle sur lesquels sont disposés les perçages **16** ; une seconde série **58** de perçages sont aussi disposés les uns au-dessus des autres selon Y1, croisent à angle droit les perçages **57** de la première série avec communication fluide, et passent également au travers du cercle sur lesquels sont disposés les perçages **16**. Cette variante présente certains intérêts concernant la fabrication industrielle d'une telle pièce massive et de son usinage.

10 Il est à noter que les clapets anti-retour 46a, 47a peuvent être de tout type utilisés couramment dans les compresseurs et ne sont pas forcément disposés à proximité des entrée et sortie 46, 47.

Il est à noter que l'agencement du dispositif pourrait être inversé, à savoir la partie froide en haut et la partie chaude en bas, mais il est entendu que la disposition selon la verticale permet d'éliminer les effets de la pesanteur par rapport à la direction radiale du dispositif et en particulier par rapport au guidage de la tige et au guidage du piston et à l'élimination des frottements

Il est à noter que pour augmenter le taux de compression, il est possible de disposer plusieurs dispositifs de compression tels que décrits précédemment en série.

Il est à noter que la frontière entre le premier carter et le deuxième carter pourrait être située à une position différente.

Le manchon isolant **37** pourrait être formé par une pièce spécifique interposée entre les premier et second carters.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de compression thermique de fluide gazeux, comprenant :

- une entrée de fluide gazeux à comprimer et une sortie de fluide gazeux comprimé,
- une enceinte de travail renfermant du fluide gazeux,
- une première chambre, couplée thermiquement à une source chaude adaptée pour apporter des calories au fluide gazeux,
- une deuxième chambre couplée thermiquement à une source froide pour transférer des calories du fluide gazeux vers la source froide,
- un piston monté mobile dans une chemise cylindrique selon une direction axiale (X) et séparant la première chambre et la deuxième chambre à l'intérieur de ladite enceinte de travail, le piston étant déplacé par une tige solidaire du piston,
- un échangeur régénérateur et des canaux de communication mettant en communication fluide les première et deuxième chambres,

dans lequel la tige est agencée dans une douille cylindrique solidaire de l'enceinte, et la tige est guidée en translation axiale par un système de guidage linéaire afin de guider le piston sans contact par rapport à la chemise, et

- une bague d'étanchéité cylindrique fixée dans la douille cylindrique et entourant la tige avec un jeu radial (e_1) compris entre 2 et 20 μm , pour limiter fortement le passage de fluide gazeux le long de la tige mobile depuis et vers une chambre auxiliaire,

caractérisé en ce que le système de guidage linéaire comprend un fourreau cylindrique à billes, dans lequel les billes roulent sur la douille et le fourreau se déplace deux fois moins vite que la tige.

2. Dispositif de compression selon la revendication 1, dans lequel le piston présente un bord extérieur disposé de manière adjacente à la chemise et le bord extérieur du piston est guidé sans frottement dans la chemise avec un jeu fonctionnel (e2) entre le bord extérieur et la chemise compris entre 5 μ m et 30 μ m.

3. Dispositif de compression selon la revendication 2, dans lequel le jeu fonctionnel (e2) est voisin de 10 μ m.

4. Dispositif de compression selon l'une quelconque des revendications 1-3, caractérisé en ce qu'il est dépourvu de lubrification liquide.

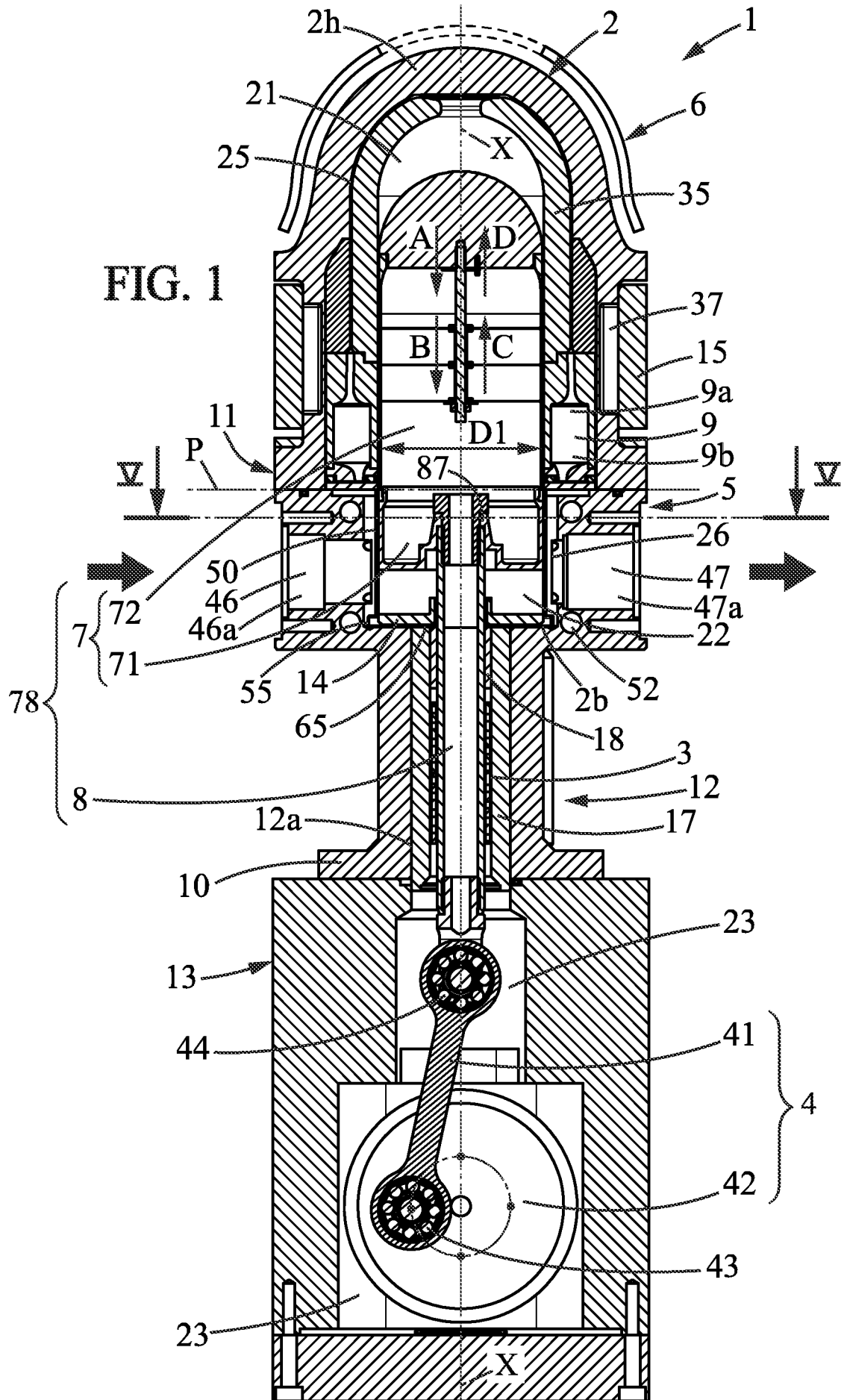
5. Dispositif de compression selon l'une quelconque des revendications 1-4, dans lequel la tige est refroidie par un dispositif de déflexion du flux de fluide gazeux refroidi.

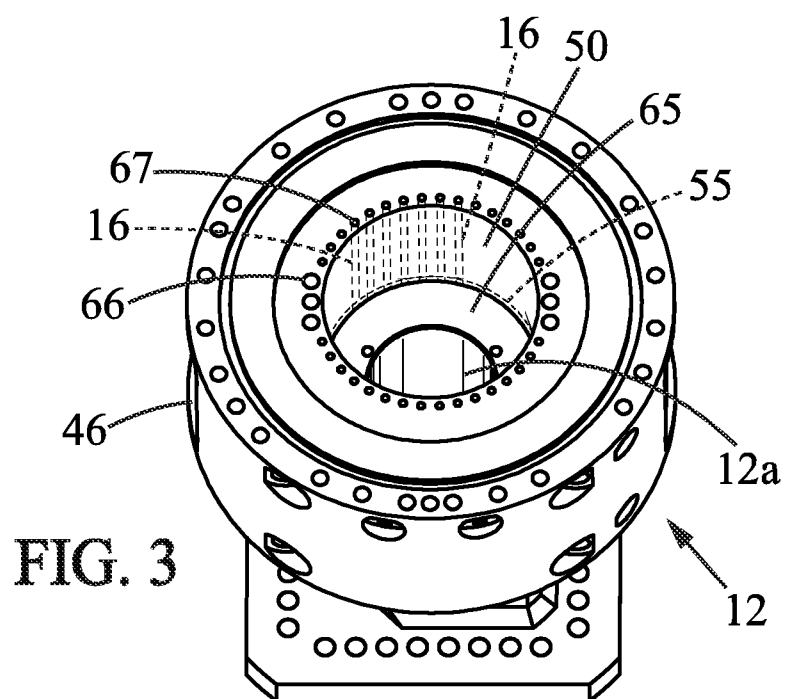
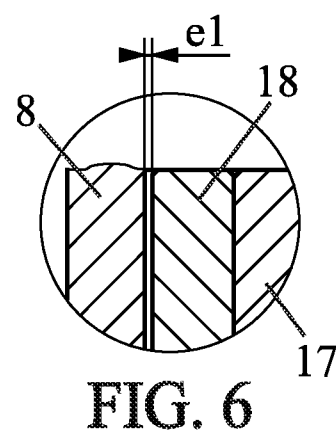
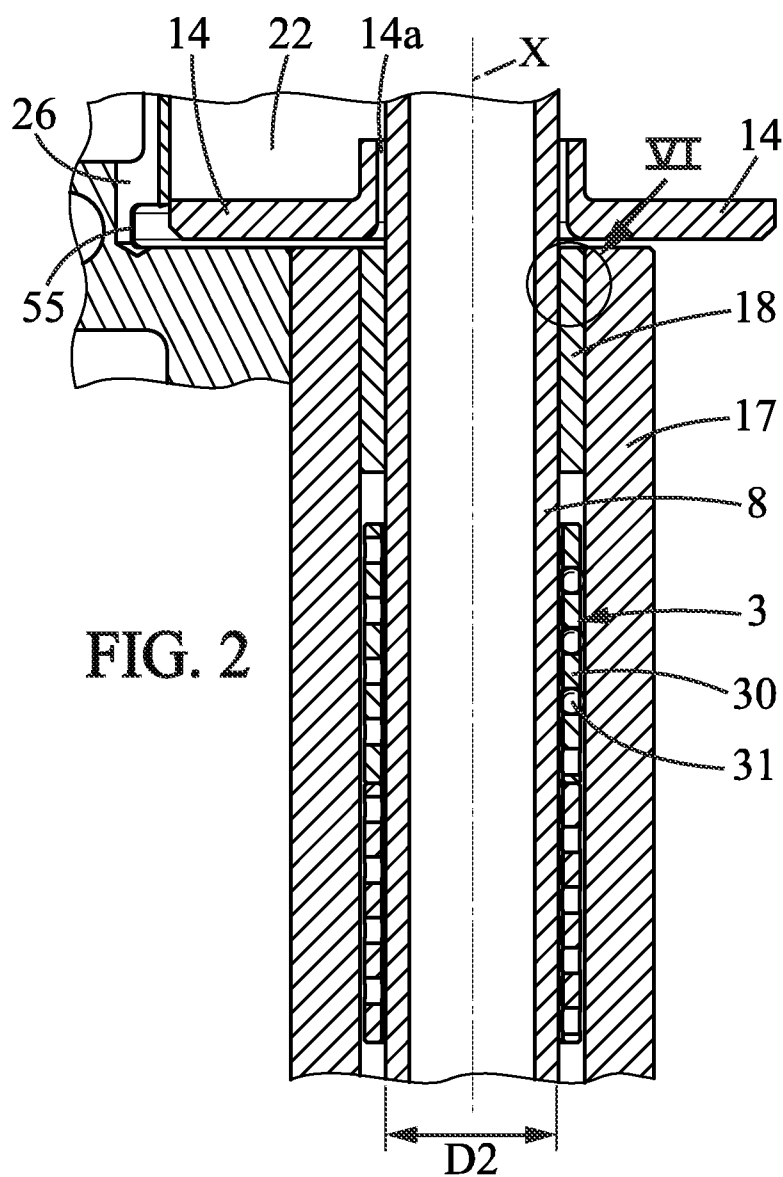
6. Dispositif de compression selon l'une quelconque des revendications 1-5, dans lequel la tige présente un diamètre (D2) supérieur au quart du diamètre (D1) du piston.

7. Dispositif de compression selon l'une quelconque des revendications 1-6, comprenant en outre un dispositif d'auto-entraînement agissant sur une extrémité de la tige et comprenant une bielle reliée à la tige et un volant inertiel relié à la bielle.

8. Dispositif de compression selon la revendication 7, dans lequel le dispositif d'auto-entraînement est disposé dans la chambre auxiliaire remplie du fluide gazeux, la bague d'étanchéité étant interposée entre la deuxième chambre et la chambre auxiliaire.

9. Système thermique comprenant un circuit caloporteur et au moins un dispositif de compression selon l'une quelconque des revendications 1-8.





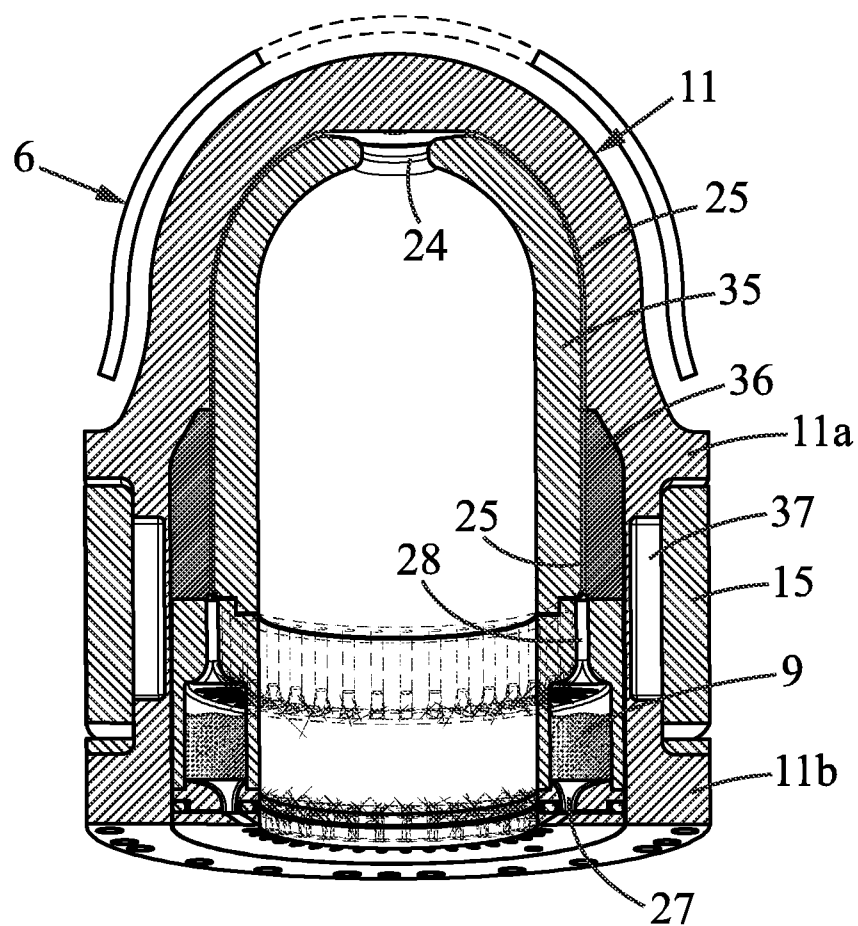


FIG. 4

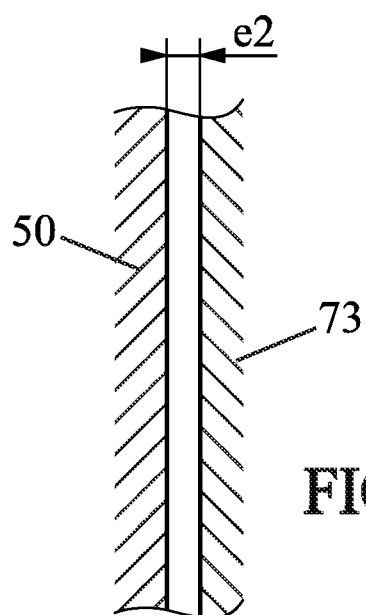


FIG. 7

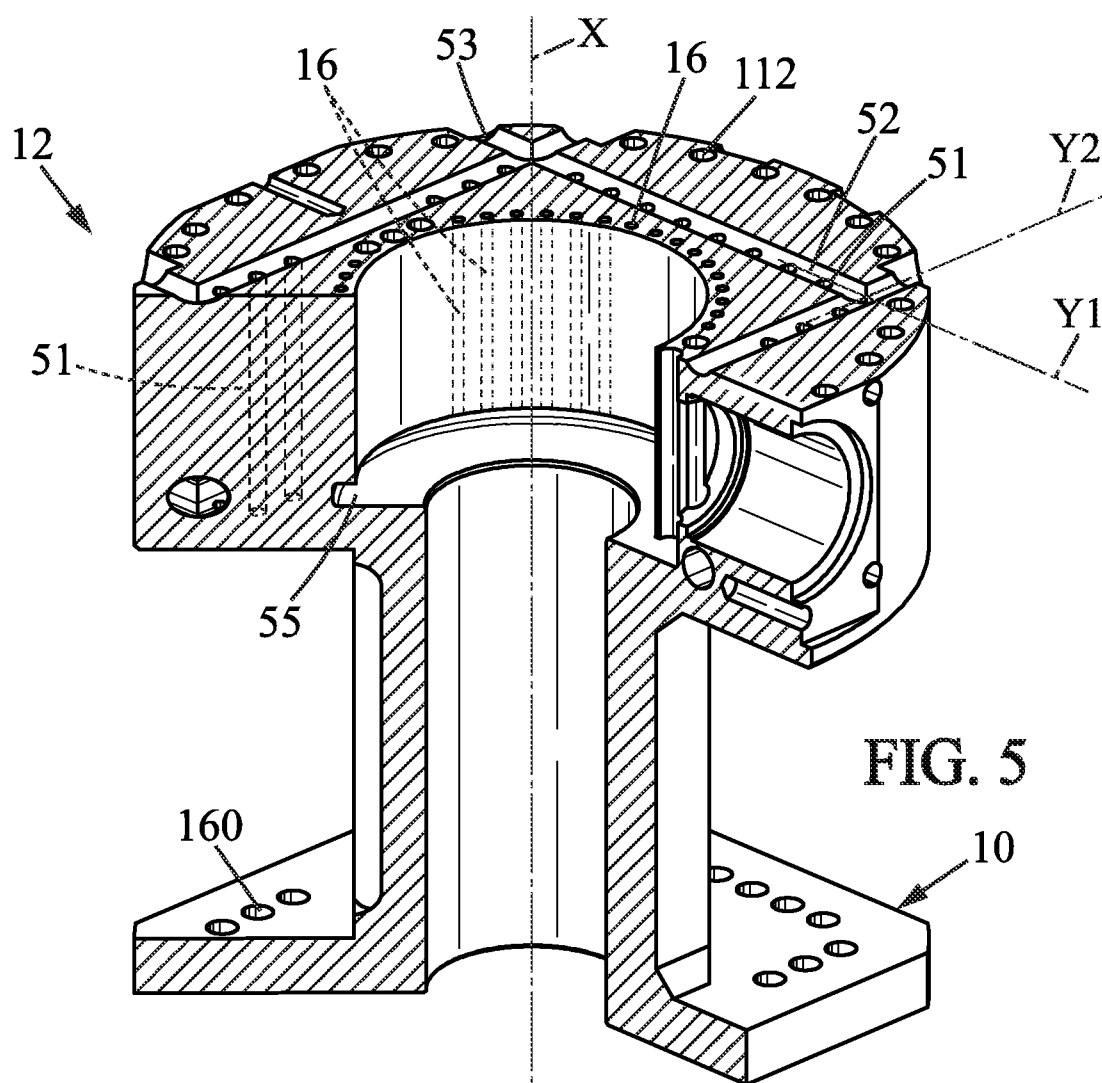


FIG. 5

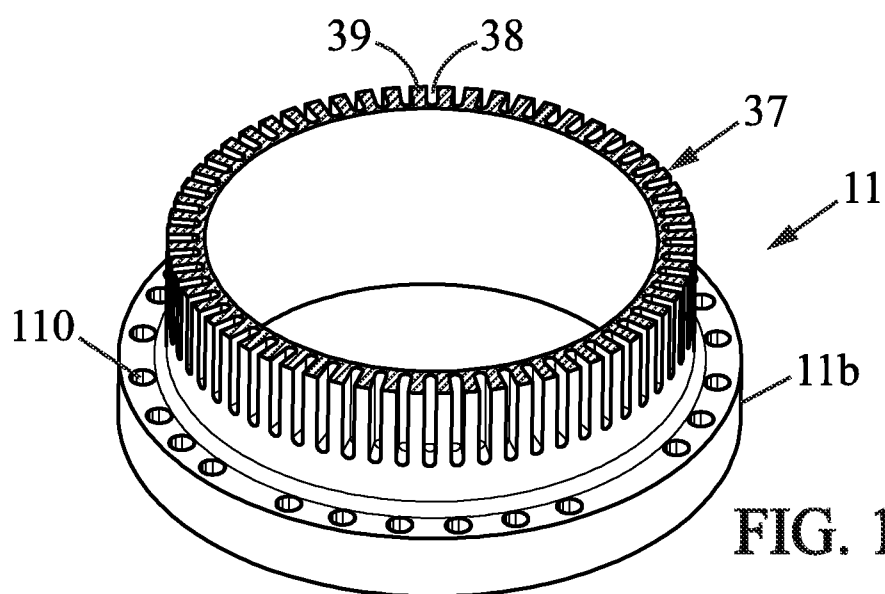


FIG. 12

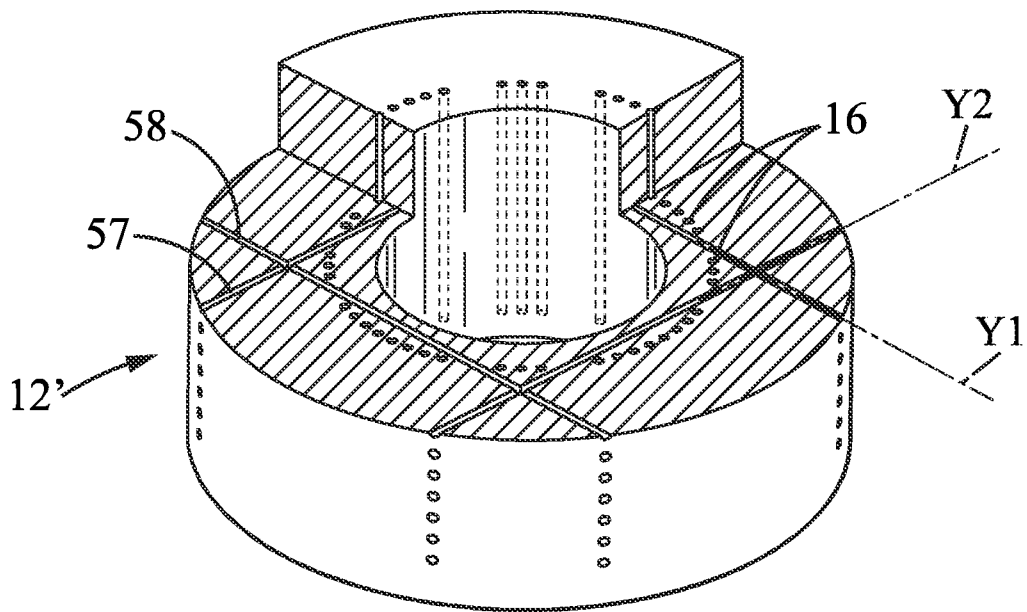
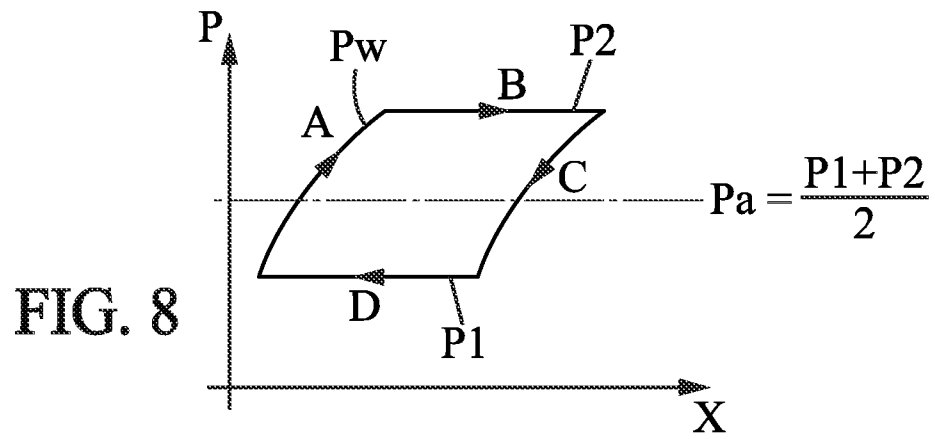


FIG. 10

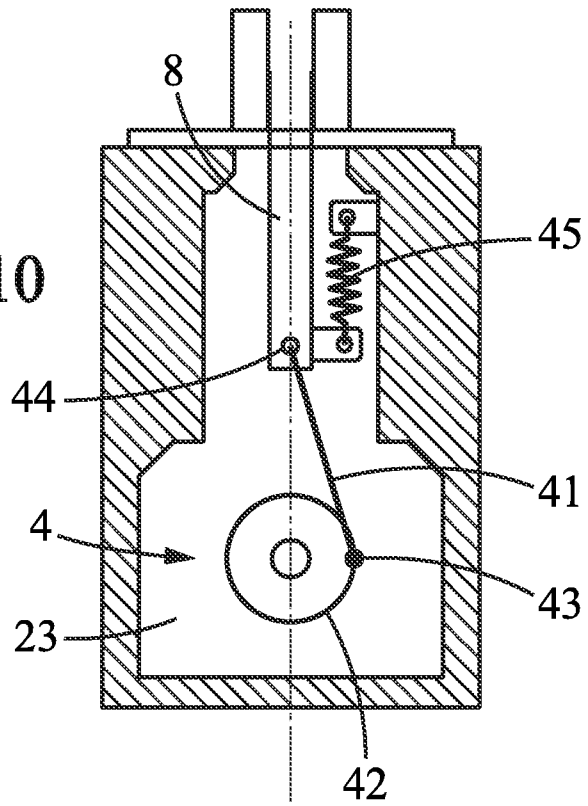


FIG. 11

