



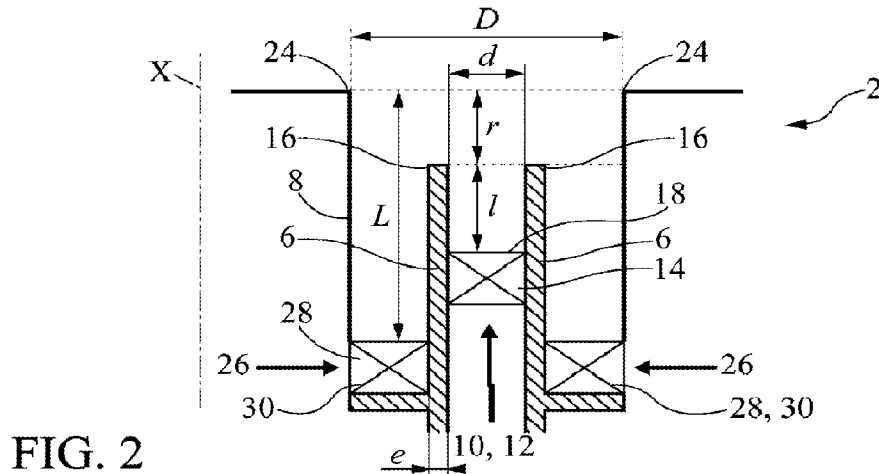
(12) **DEMANDE DE BREVET CANADIEN  
CANADIAN PATENT APPLICATION**

(13) **A1**

(86) **Date de dépôt PCT/PCT Filing Date:** 2022/10/05  
(87) **Date publication PCT/PCT Publication Date:** 2023/04/13  
(85) **Entrée phase nationale/National Entry:** 2024/04/04  
(86) **N° demande PCT/PCT Application No.:** FR 2022/051883  
(87) **N° publication PCT/PCT Publication No.:** 2023/057722  
(30) **Priorités/Priorities:** 2021/10/08 (FR FR2110692);  
2021/10/22 (FR FR2111267)

(51) **Cl.Int./Int.Cl. F23R 3/14** (2006.01),  
**F23D 14/24** (2006.01)  
(71) **Demandeurs/Applicants:**  
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE, FR;  
SAFRAN HELICOPTER ENGINES, FR;  
UNIVERSITE TOULOUSE III - PAUL SABATIER, FR  
(72) **Inventeurs/Inventors:**  
RICHARD, STEPHANE RAPHAEL YVES, FR;  
VIGUIER, CHRISTOPHE NICOLAS HENRI, FR;  
MARRAGOU, SYLVAIN, FR;  
SCHULLER, THIERRY, FR  
(74) **Agent:** LAVERY, DE BILLY, LLP

(54) **Titre : DISPOSITIF D'INJECTION DE DIHYDROGENE ET D'AIR**  
(54) **Title: DEVICE FOR INJECTING DIHYDROGEN AND AIR**



**FIG. 2**

(57) **Abrégé/Abstract:**

Le présent document concerne un dispositif d'injection de dihydrogène (2) d'axe longitudinal (X) destiné à être monté sur un fond annulaire d'une chambre annulaire (4) de combustion d'une turbomachine comprenant un canal interne (6) de circulation de dihydrogène et un canal annulaire externe (8) de circulation d'un mélange comprenant au moins de l'air, le canal interne (6) et le canal annulaire externe (8) étant coaxiaux, une vrille interne (14) étant logée dans le canal interne (6) et une vrille externe (28) étant logée dans le canal annulaire externe (8), et dans lequel une extrémité aval (16) du canal interne (6) est agencée en amont, à une distance  $r$ , d'une extrémité aval (24) du canal annulaire externe (8). Cette combustion de dihydrogène permet d'éliminer les émissions polluantes carbonées tel que du monoxyde de carbone, des hydrocarbures imbrûlés ou encore des particules fines et fumées.

**Date de soumission :** 2024/04/04

**No de la demande can. :** 3233988

**Abrégé:**

Le présent document concerne un dispositif d'injection de dihydrogène (2) d'axe longitudinal (X) destiné à être monté sur un fond annulaire d'une chambre annulaire (4) de combustion d'une turbomachine comprenant un canal interne (6) de circulation de dihydrogène et un canal annulaire externe (8) de circulation d'un mélange comprenant au moins de l'air, le canal interne (6) et le canal annulaire externe (8) étant coaxiaux, une vrille interne (14) étant logée dans le canal interne (6) et une vrille externe (28) étant logée dans le canal annulaire externe (8), et dans lequel une extrémité aval (16) du canal interne (6) est agencée en amont, à une distance  $r$ , d'une extrémité aval (24) du canal annulaire externe (8). Cette combustion de dihydrogène permet d'éliminer les émissions polluantes carbonées tel que du monoxyde de carbone, des hydrocarbures imbrûlés ou encore des particules fines et fumées.

## Description

### Titre : Dispositif d'injection de dihydrogène et d'air

#### Domaine technique

[0001] Le présent document concerne les turbomachines dont la chambre de combustion  
5 est alimentée par des injections séparées de dihydrogène et d'air.

#### Technique antérieure

[0002] Le secteur aéronautique fait face à de grands enjeux environnementaux. L'intérêt  
d'avoir recours à une combustion utilisant du dihydrogène plutôt qu'à l'emploi de kérosène  
est de plus en plus fort car cette combustion de dihydrogène permettrait d'éviter les  
10 émissions de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et les polluants carbonés tels que du monoxyde de  
carbone, des hydrocarbures imbrûlés ou encore des particules fines et fumées.

[0003] Il est connu un principe de brûleurs à micro-mélange d'air et de dihydrogène.  
Cependant, de tels brûleurs ne garantissent pas la tenue thermique d'une paroi percée ou  
l'absence de retour de flamme dans le dispositif d'injection de dihydrogène. Ces brûleurs  
15 possèdent également un système de géométrie complexe. De tels brûleurs présentent un  
coût de réalisation important, une perte de charge élevée et ces brûleurs sont spécifiques  
à une architecture de chambre de combustion donnée.

[0004] En effet, la combustion de dihydrogène engendre différentes problématiques. Ainsi,  
des risques de remontée de flamme dans le dispositif d'injection peuvent arriver pour des  
20 systèmes opérant avec des mélanges de dihydrogène et d'air. Cela peut endommager la  
chambre de combustion et poser de sérieux problèmes de sécurité. Enfin, la combustion  
de dihydrogène génère des charges thermiques élevées vers des parois de cette chambre  
de combustion, ce qui tend à en réduire la durée de vie. De fortes températures de gaz et  
d'émissions d'oxydes d'azote sont produites. Ces températures de gaz et d'émissions  
25 d'oxydes d'azote sont supérieures à celles produites par des flammes de kérosène, à  
richesse équivalente. Cela est, d'ailleurs, difficilement compatible avec les normes actuelles.

#### Résumé

[0005] Le présent document concerne un dispositif d'injection de dihydrogène d'axe  
longitudinal destiné à être monté sur un fond annulaire d'une chambre annulaire de  
30 combustion d'une turbomachine comprenant un canal interne de circulation de dihydrogène  
et un canal annulaire externe de circulation d'un mélange comprenant au moins de l'air, le  
canal interne et le canal annulaire externe étant coaxiaux, une vrille interne étant logée  
dans le canal interne et une vrille externe étant logée dans le canal annulaire externe, et

dans lequel une extrémité aval du canal interne est agencée en amont, à une distance  $r$ , d'une extrémité aval du canal annulaire externe.

**[0006]** Ce dispositif permet de produire une flamme dihydrogène/air utilisable dans des turbomachines qui permet à la fois de produire de bas niveaux d'émissions d'oxydes d'azote, une charge thermique réduite sur la chambre de combustion et l'injecteur ainsi que de supprimer les risques de remontée de flamme. Par ailleurs cet injecteur a la particularité d'être à la fois simple à produire et facilement adaptable aux turbomachines existantes fonctionnant au kérosène.

**[0007]** De manière générale, une vrille permet de mettre en rotation un flux. L'intégration d'une vrille interne au canal interne permet de créer une zone de recirculation d'un écoulement de dihydrogène traversant ledit canal interne et évitant que la combustion du mélange air et dihydrogène ne vienne se stabiliser sur l'extrémité aval du canal interne. Par zone de recirculation, on entend une zone générant un effet de centrifugation avec une dépression à l'intérieur capable de produire une composante de vitesse axiale de l'écoulement en moyenne négative par rapport à une direction principale de l'écoulement. Cette zone de recirculation est similaire à celle générée à l'intérieur d'un tourbillon dans lequel de l'air est aspiré. La zone de recirculation interne bloque une partie de l'écoulement de dihydrogène le long de l'axe longitudinal dudit canal interne générant dans une section de sortie de ce canal interne des survitesses importantes à proximité des parois du canal interne par rapport à un écoulement avec une vitesse débitante axiale uniforme. La mise en rotation du dihydrogène du canal interne permet d'éviter d'accrocher la flamme sur les extrémités aval du canal interne en la stabilisant aérodynamiquement au-dessus du canal interne. L'extrémité aval du canal interne étant agencée en amont à une distance  $r$ , cela évite d'autant plus que la flamme ne s'accroche sur les lèvres du canal interne. Cette mise en rotation du dihydrogène du canal interne évite la mise en place d'un dispositif de refroidissement complexe du dispositif d'injection de dihydrogène. Ainsi, le coût et la masse du dispositif d'injection de dihydrogène sont améliorés. Ce dispositif d'injection de dihydrogène produit des pertes de charges limitées par rapport à d'autres dispositifs d'injection liquide utilisant du kérosène comme dans l'art antérieur. Ce dispositif d'injection de dihydrogène présente une géométrie simple, un faible coût de réalisation et s'adapte sur les architectures de chambre de combustion existantes.

**[0008]** Cette stabilisation de la flamme à distance facilite un mélange partiel entre le mélange contenant au moins de l'air avec le dihydrogène sortant du canal interne, en amont de la flamme, et en évitant tout risque de remontée de flamme dans ledit canal interne et le canal externe, aussi appelé « flash back » en anglais. Cela permet d'aboutir à une combustion appauvrie en dihydrogène dans la chambre de combustion. Ce dispositif

tend ainsi à réduire très fortement les températures de combustion et des oxydes d'azote émis. Cela garantit une intégrité d'un foyer de combustion.

**[0009]** Le positionnement de l'extrémité aval du canal interne en amont de l'extrémité aval du canal annulaire, distance notée  $r$  sur la figure 2, externe remplit deux fonctions. Il permet  
5 d'optimiser le mélange entre le dihydrogène et l'air. Il permet aussi d'élargir le domaine de fonctionnement où la flamme est détachée en reculant la zone d'introduction centrale de dihydrogène par rapport à la zone de stabilisation aérodynamique de la flamme.

**[0010]** Le canal interne peut être un canal central tubulaire.

**[0011]** Au moins la vrille interne du canal interne peut présenter une forme hélicoïdale.

10 **[0012]** Cette forme hélicoïdale permet d'améliorer l'aérodynamisme de l'écoulement de dihydrogène traversant la vrille interne.

**[0013]** La vrille interne peut être agencée selon l'axe longitudinal en aval de la vrille externe.

**[0014]** Un taux de rotation  $S$  généré par la vrille interne du canal interne, défini comme un rapport entre une vitesse tangentielle et une vitesse débitante selon l'axe longitudinal d'un  
15 écoulement de dihydrogène en sortie de la vrille interne, peut être égal ou supérieur à 0,6.

**[0015]** Ces valeurs du taux de rotation  $S$  qui est un nombre sans dimensions permettent d'obtenir des flammes ayant un mouvement de rotation par rapport à l'axe longitudinal qui sont décrochées du canal interne.

**[0016]** La vrille interne du canal interne peut être agencée en amont, à une distance  $l$ , de  
20 l'extrémité aval du canal interne.

**[0017]** Le canal interne peut avoir un diamètre interne  $d$  et le canal annulaire externe peut avoir un diamètre interne  $D$  tels qu'un rapport  $D/d$  soit compris entre 3 et 10.

**[0018]** Ce rapport  $D/d$  optimisé permet de fonctionner dans un régime pauvre en dihydrogène.

25 **[0019]** Une épaisseur d'une paroi du canal interne  $e$  est tel qu'un rapport  $e/d$  peut être compris entre 0,05 et 0,7.

**[0020]** Un rapport  $l/d$  peut être compris entre 1 et 3.

**[0021]** La distance minimale  $l_{\min}$  est égale à  $1d$  de sorte qu'une zone de recirculation centrale pénètre dans le canal interne. La plage choisie pour  $l/d$  permet d'obtenir un bon  
30 compromis et un taux de rotation  $S$  suffisant pour mettre en rotation correctement la flamme.

**[0022]** La distance  $r$  peut être comprise entre  $0,05D$  et  $0,5D$ .

**[0023]** Il existe une valeur optimale pour la distance  $r$  qui dépend du diamètre  $D$  du canal externe. Si cette distance  $r$  est trop élevée, la zone de recirculation devient instable. La plage de valeur choisie pour  $r$  est optimisée de façon à obtenir une zone de recirculation stable.

- 5 **[0024]** Cette distance  $r$  par rapport à l'extrémité aval du canal annulaire externe permet d'augmenter le domaine de fonctionnement où la flamme est détachée en reculant une zone d'introduction de dihydrogène par rapport à la zone de stabilisation aérodynamique de la flamme.

- [0025]** La vrille externe du canal annulaire externe peut être agencée au niveau d'une  
10 extrémité amont dudit canal annulaire externe, à une distance  $L$  de l'extrémité aval du canal annulaire externe.

**[0026]** La distance  $L$  peut être comprise entre  $1D$  et  $5D$ .

- [0027]** Le taux de rotation  $S$  peut être supérieur à  $0,6$ , une vitesse débitante  $u_i$  du dihydrogène dans le canal interne étant supérieure à une valeur critique  $u_{i,c}$  et vérifiant la  
15 relation suivante :

$$\frac{u_{i,c}}{u_{i,c0}} = \left(\frac{S_0}{S}\right)^\beta \frac{P}{P_0} \left(\frac{T_a}{T_{a0}}\right)^{0.8}$$

Où :

- $P$  est une pression dans la chambre annulaire de combustion ;
- 20 -  $T_a$  est une température de l'air en Kelvin dans le canal externe;
- $\beta$  compris entre  $1$  et  $1,5$  est un facteur dépendant d'un type de vrille utilisée ;
- $S_0=0.6$ ,  $P_0=1$  bar,  $T_{a0}=300$  K et  $u_{i,c0}=18$  m/s.

- [0028]** Cette valeur critique  $u_{i,c}$  permet d'assurer que la flamme formée en sortie du dispositif d'injection soit détachée des extrémités avales du canal interne pour une large  
25 plage de fonctionnement moteur.

**[0029]** Le mélange peut être de l'air.

- [0030]** Le présent document concerne un ensemble comprenant le dispositif du type précité, dans lequel le canal interne, relié fluidiquement à des moyens d'alimentation en dihydrogène, comporte la vrille interne configurée pour mettre en rotation ledit dihydrogène,  
30 et le canal annulaire externe, relié fluidiquement à des moyens d'alimentation en air, comporte la vrille externe configurée pour mettre en rotation ledit air.

**Brève description des dessins**

[0031] D'autres caractéristiques, détails et avantages apparaîtront à la lecture de la description détaillée ci-après, et à l'analyse des dessins annexés, sur lesquels :

**Fig. 1**

[0032] [Fig. 1] montre une turbomachine comprenant un dispositif d'injection de dihydrogène agencé dans un fond annulaire d'une chambre annulaire de combustion selon trois configurations.

**Fig. 2**

[0033] [Fig. 2] montre le dispositif d'injection de dihydrogène, selon l'invention.

**Fig. 3**

[0034] [Fig. 3] montre schématiquement une formation d'une zone de recirculation qui pénètre le dispositif d'injection de dihydrogène et une flamme en sortie du dispositif d'injection de dihydrogène.

**Fig. 4**

[0035] [Fig. 4] montre une pluralité de configurations possibles (figures. A, B, C, D, E, F, G, H) de canal interne, selon l'invention.

**Fig. 5**

[0036] [Fig. 5] montre une pluralité de configurations possibles (figures. A, B, C, D, E) d'extrémité aval de canal annulaire externe, selon l'invention.

**Description détaillée**

[0037] Le présent document concerne un dispositif d'injection de dihydrogène 2 destiné à être monté sur un fond annulaire d'une chambre annulaire de combustion 4 d'une turbomachine. Ce dispositif d'injection de dihydrogène 2 est employé dans une configuration de combustion pauvre en dihydrogène telle que les températures de flammes et la formation d'oxyde d'azote sont réduites. On dit que le dispositif d'injection est pauvre, quand il y a du dioxygène en excès par rapport à une combustion se déroulant à la stœchiométrie entre du dihydrogène et de l'air et que le système d'injection est riche quand on a du dihydrogène en excès par rapport à cette combustion à la stœchiométrie. La combustion à la stœchiométrie étant définie comme celle pour laquelle on a le bon nombre d'atomes d'hydrogène et d'oxygène nécessaires pour consommer tout le combustible et qu'il ne reste plus que de l'eau dans les produits de combustion. C'est dans le contexte de combustion pauvre en dihydrogène que se place la présente invention.

[0038] Comme illustré en figure 1, trois implantations dudit dispositif d'injection de dihydrogène 2 sont possibles en fonction de l'orientation du fond annulaire de la chambre

annulaire de combustion 4 : soit la chambre de combustion est orientée sensiblement selon un axe longitudinal, avec le fond de chambre situé vers l'avant du moteur appelé chambre directe ou avec le fond de chambre situé vers l'arrière du moteur appelé chambre à flux inversé comme illustré sur la figure 1, soit la chambre de combustion est transverse audit  
5 axe longitudinal X. Dans tous les cas, le dispositif d'injection de dihydrogène 2 est implanté entre le compresseur et la turbine haute pression, sur le fond annulaire de la chambre annulaire de combustion 4 ou sur une virole externe.

**[0039]** Comme illustré en figure 2, ledit dispositif d'injection de dihydrogène comprend un canal interne 6 et un canal annulaire externe 8. Le canal interne 6 et le canal annulaire  
10 externe 8 sont coaxiaux.

**[0040]** Un premier gaz est injecté depuis une entrée 10 située à une extrémité amont du canal interne 6. Ce premier gaz est du dihydrogène 12. Le canal interne 6 comporte un diamètre interne  $d$ . Le choix du diamètre interne  $d$  du canal dépend d'une puissance thermique souhaitée. Une épaisseur d'une paroi du canal interne  $e$  correspond à la moitié  
15 de la différence d'un diamètre externe du canal interne et d'un diamètre interne du canal interne  $d$ . Un rapport  $e/d$  est compris entre 0,05 et 0,7.

**[0041]** Ce canal interne 6 comporte une vrille interne 14 configurée pour mettre en rotation un écoulement de dihydrogène 12 autour d'un axe longitudinal X. Ladite vrille interne 14 du canal interne 6 est agencée à une distance  $l$  d'une extrémité aval 16 du canal interne. La  
20 distance  $l$  entre l'extrémité aval 16 du canal interne 6 et une extrémité aval 18 de la vrille interne 14 est comprise entre  $1d$  et  $5d$ . Comme illustré en figure 3, un espace est ainsi laissé entre la vrille interne 14 et l'extrémité aval 18 du canal interne 6 pour qu'une zone de recirculation 20 centrale puisse s'installer. La zone de recirculation est une région autour de l'axe longitudinal X du dispositif d'injection où une composante axiale de l'écoulement  
25 est en moyenne négative par rapport à une direction principale de l'écoulement. Cette zone de recirculation 20 est générée par une dépression créée à l'intérieur du mouvement de rotation de l'écoulement. Cette dépression est due à l'effet de centrifugation induit par cette rotation de l'écoulement. La zone de recirculation 20 est similaire à celle générée à l'intérieur d'un tourbillon dans lequel de l'air est aspiré. Dans le présent document, la zone  
30 de recirculation 20 est configurée pour pénétrer à l'intérieur du canal interne venant bloquer une partie de la section de l'extrémité aval 16 du canal interne 6 et produisant une accélération de l'écoulement en périphérie. Cela repousse une flamme 22 formée à la sortie du dispositif d'injection et la met en rotation.

**[0042]** La vrille interne 14 peut, par exemple, comporter une pièce hélicoïdale avec un pas  
35 d'hélice adapté. Ce pas d'hélice est configuré pour définir un positionnement de la flamme

22 à la sortie du dispositif d'injection 2, pour minimiser les émissions polluantes et définir une thermique du dispositif d'injection. Cette pièce hélicoïdale met en rotation l'écoulement de dihydrogène avec un taux de rotation caractérisé par un nombre sans dimension S. Ce taux de rotation S est défini comme un rapport d'un moment cinétique rapporté au produit d'un rayon du canal multiplié par une impulsion de l'écoulement de dihydrogène 12 mis en rotation, selon la formule suivante :

$$S = \frac{2 G_{\theta}}{d G_z}$$

où  $G_{\theta}$  est le moment cinétique de l'écoulement selon une direction axiale,  $G_z$  est l'impulsion de l'écoulement selon la direction axiale et d le diamètre du canal. On utilise en général des expressions approchées pour estimer  $G_{\theta}$  et  $G_z$  basées sur les vitesses tangentielle et axiale de l'écoulement mis en rotation dans le canal. Dans ce cas S correspond au rapport d'une vitesse tangentielle divisé par une vitesse axiale. La vitesse tangentielle correspond à une composante de rotation de la vitesse par rapport à l'axe d'injection.

**[0043]** Un taux de blocage de l'écoulement de dihydrogène 12 dans le canal interne 6 est établi de sorte à être suffisamment élevé pour repousser la flamme 22 se formant à une extrémité aval 24 du canal annulaire externe 8. Le taux de blocage représente un ratio entre une section occupée par la zone de recirculation 20 remontant à l'intérieur du dispositif d'injection de dihydrogène 12 au niveau de l'extrémité aval 16 du canal interne 6 par rapport à une section de passage du canal interne 6. Ce taux de blocage dépend de la forme de la zone de recirculation 20. Plus précisément, c'est un élément aérodynamique qui dépend des paramètres dimensionnels du dispositif d'injection de dihydrogène 2. Plus un rapport l/d est élevé, plus la distance d'enfoncement de la vrille interne 14 par rapport au diamètre est élevée et plus on peut choisir une valeur élevée pour le taux de rotation S en modifiant la géométrie de la vrille interne 14. Le taux de rotation S est au moins être égal à 0.6 et un rapport l/d est compris entre 1 et 3. Comme illustré en figure 4, l'extrémité aval 16 du canal interne 6 peut comporter des épaisseurs variables ainsi que différentes formes.

**[0044]** Dans un premier mode de réalisation illustré en figure 4A, l'extrémité aval 16 du canal interne 6 comporte une paroi rectiligne et longitudinale.

**[0045]** Dans un deuxième mode de réalisation illustré en figure 4B, l'extrémité aval 16 du canal interne 6 comporte une forme d'évasement. Cette extrémité aval 16 est configurée pour modifier l'écoulement du canal interne 6 en proche paroi de l'extrémité 16.

**[0046]** Dans un troisième mode de réalisation illustré en figure 4C, l'extrémité aval 16 du canal interne 6 comporte un effet de culot vers l'extérieur. Cette extrémité aval 16 est configurée pour modifier l'écoulement du canal externe 8 en proche paroi de l'extrémité 16.

**[0047]** Dans un quatrième mode de réalisation illustré en figure 4D, l'extrémité aval 16 du canal interne 6 comporte une section qui augmente vers l'aval. Ce quatrième type d'extrémité aval est configuré pour favoriser l'augmentation du taux de rotation S dans le canal interne 6 contenant le dihydrogène 12. De par cette configuration, la vitesse axiale est réduite et la vitesse tangentielle est augmentée, d'où l'augmentation du taux de rotation S. Cette extrémité aval 16 est configurée pour modifier l'écoulement du canal interne 6 en proche paroi de l'extrémité 16 ainsi que l'écoulement du canal externe 8 en proche paroi de l'extrémité 16.

**[0048]** Dans un cinquième mode de réalisation illustré en figure 4E, une épaisseur correspondant à une dimension transverse d'une paroi du canal interne 6 est plus faible ou plus importante que celle dans le premier mode de réalisation.

**[0049]** Dans un sixième mode de réalisation illustré en figure 4F, l'extrémité aval 16 du canal interne 6 comporte un effet biseau. Cette extrémité aval 16 est configurée pour modifier l'écoulement du canal externe 8 en proche paroi de l'extrémité 16.

**[0050]** Dans un septième mode de réalisation illustré en figure 4G, l'extrémité aval 16 du canal interne 6 comporte un effet de culot vers l'intérieur. Cette extrémité aval 16 est configurée pour modifier l'écoulement du canal interne 6 en proche paroi de l'extrémité 16.

**[0051]** Dans un huitième mode de réalisation illustré en figure 4H, l'extrémité aval 16 comporte une section qui se réduit vers l'aval. Cette extrémité aval 16 est configurée pour modifier l'écoulement du canal interne 6 en proche paroi de l'extrémité 16 ainsi que l'écoulement du canal externe 8 en proche paroi de l'extrémité 16.

**[0052]** Comme illustré en figure 1, l'extrémité aval 16 du canal interne 6 est agencée en amont par rapport à l'extrémité aval 24 du canal annulaire externe 8. L'extrémité aval 24 du canal annulaire externe 8 est agencée à une distance  $r$  de l'extrémité aval 16 du canal interne 6. Ce canal annulaire externe 8 comporte un diamètre interne  $D$ , tel qu'un rapport  $D/d$  avec le diamètre  $d$  du canal interne 6 est compris entre 3 et 10.

**[0053]** Le canal annulaire externe 8 est configuré pour recevoir un second gaz comprenant de l'air ou un mélange air et dihydrogène. Ce gaz pénètre dans le canal annulaire externe par une entrée 26 agencée en amont dudit canal annulaire externe.

**[0054]** Un rapport de section entre le diamètre interne  $d$  du canal interne 6 et le diamètre interne  $D$  du canal annulaire externe 8 dépend :

i/ du rapport de mélange entre l'air et le dihydrogène souhaité, et

ii/ de la vitesse débitante  $u_i$  du dihydrogène dans le canal interne.

Dans le présent document, un fonctionnement en régime pauvre en dihydrogène impose que ce rapport  $D/d$  soit compris entre 3 et 10.

**[0055]** Une vrille externe 28 est logée à une extrémité amont 30 du canal annulaire externe 8. Cette vrille externe 28 est annulaire. Cette vrille externe 28 peut être radiale. Cette vrille  
5 externe 28 annulaire est agencée à une distance  $L$  de l'extrémité aval 36 du canal annulaire externe 8. Cette distance  $L$  est comprise entre  $1D$  et  $5D$ . Le combustible est alors mis en rotation au centre par la vrille interne 14 alors que l'air ou le mélange contenant au moins de l'air est mis en rotation autour par la vrille externe 28. Cela génère un ensemble tourbillonnaire.

10 **[0056]** Comme illustré en figure 5, le canal annulaire externe 8 peut comporter différentes formes.

**[0057]** Dans un mode de réalisation particulier illustré en figure 5A, le canal annulaire externe 8 comporte un premier canal annulaire 8 et un second canal annulaire 32. Le premier canal annulaire 8 correspond au canal annulaire externe 8. Ce premier canal  
15 annulaire 8 débute à une extrémité aval 36 de la vrille externe 28 et débouche en amont de l'extrémité aval 30 de la vrille externe 28. Le second canal annulaire 32 comporte un diamètre interne supérieur au diamètre interne du premier canal annulaire 8. Ce second canal annulaire 32 débute à l'extrémité aval 36 de la vrille externe 28 et débouche en amont de l'extrémité aval 16 du canal interne 6.

20 **[0058]** Dans un mode de réalisation particulier illustré en figure 5B, l'extrémité aval 24 du canal annulaire externe 8 comporte une section qui augmente vers l'aval. Cette extrémité aval 24 est configurée pour modifier l'écoulement du canal annulaire externe 8 en proche paroi de l'extrémité 24.

**[0059]** Dans un mode de réalisation particulier illustré en figure 5C, l'extrémité aval 24 du  
25 canal annulaire externe 8 comporte une section qui se réduit vers l'aval. Cette extrémité aval 24 est configurée pour modifier l'écoulement du canal annulaire externe 8 en proche paroi de l'extrémité 24.

**[0060]** Dans un mode de réalisation particulier illustré en figure 5D, la distance  $L$  peut être modifiée.

30 **[0061]** Dans un mode de réalisation particulier illustré en figure 5E, le canal annulaire externe 8 comporte un seul canal annulaire dont l'écoulement du canal externe 8 est mis en rotation par la vrille externe 28 axiale.

**[0062]** Afin de générer un mouvement de rotation des flammes, plusieurs conditions sont réunies.

**[0063]** Le taux de rotation  $S$  doit être élevé dans le canal interne 6. Ce taux de rotation  $S$  est supérieur à 0,6. En effet, en dessous de 0,6, il n'y a pas de formation de zone de recirculation avec une dépression suffisante au centre car la vitesse tangentielle de l'écoulement de dihydrogène n'est pas suffisante.

- 5 **[0064]** La vrille externe 28 participe également à l'entretien de la zone de recirculation. On note  $S_{\text{ext}}$  le nombre sans dimensions associé au taux de rotation généré par la vrille externe 28.  $S_{\text{ext}}$  est supérieur à 0,6.  $S_{\text{ext}}$  est défini de façon analogue à  $S$ , c'est-à-dire qu'il s'agit d'un rapport d'une vitesse tangentielle par une vitesse débitante axiale de l'écoulement d'air.

- 10 **[0065]** Une stabilisation de la flamme, décrochée ou accrochée à l'extrémité aval 16 du canal interne 6, dépend d'un étirement d'une couche de cisaillement en amont de l'extrémité aval du canal interne sur lequel la flamme peut s'accrocher. Pour stabiliser aérodynamiquement une flamme à distance de l'extrémité aval du canal interne, il est nécessaire d'étirer suffisamment une base de la flamme dans le but de l'éteindre localement et la faire se stabiliser à distance de l'extrémité aval du canal interne. Les principaux  
15 paramètres contrôlant une valeur locale d'étirement sont le taux de rotation de l'écoulement de dihydrogène caractérisé par le nombre sans dimension  $S$ , la distance  $r$  et une vitesse débitante  $u_i$  du dihydrogène dans le canal interne.

- [0066]** Pour une vrille caractérisée par un taux de rotation  $S$  supérieur à 0,6, une vitesse débitante  $u_i$  du dihydrogène dans le canal interne doit être supérieur à une valeur critique  
20  $u_{i,c}$  vérifiant la relation suivante :

$$\frac{u_{i,c}}{u_{i,c0}} = \left(\frac{S_0}{S}\right)^\beta \frac{P}{P_0} \left(\frac{T_a}{T_{a0}}\right)^{0,8}$$

Où :

- $P$  est une pression dans la chambre annulaire de combustion ;
- 25 -  $S$  est le taux de rotation généré par la vrille interne 14 du canal interne 6 ;
- $T_a$  est une température de l'air en Kelvin dans le canal externe;
- $\beta$  compris entre 1 et 1,5 est un facteur dépendant d'un type de vrille utilisée ;
- $S_0=0,6$ ,  $P_0=1$  bar,  $T_{a0}=300$  K et  $u_{i,c0}=18$  m/s

- 30 Cette relation se base sur trois observations. La première observation est qu'un étirement de la flamme provoquant l'extinction de cette flamme augmente comme la pression  $P$  et comme la température  $T^{0,8}$ . La deuxième observation permet de préciser que l'étirement de la flamme augmente lorsque le taux de rotation dans le canal interne augmente. Plus précisément, plus l'écoulement est bloqué à l'extrémité aval du canal interne, plus les

vitesses radiales sont importantes, plus les flammes sont étirées au niveau des lèvres. La troisième observation précise que pour un taux de rotation  $S$  donné, le taux de blocage va dépendre également d'une technologie de vrille utilisée, d'où la puissance  $\beta$  dans la formule. La plage de valeur de  $\beta$  qui est comprise entre 1 et 1,5 est un bon encadrement.

- 5 Selon la richesse souhaitée et pour limiter les vitesses dans le canal annulaire et donc les pertes de charges, cela revient à choisir  $D/d$  entre 3 et 10.

**[0067]** Il existe une valeur optimale pour la distance  $r$  qui dépend du diamètre interne  $D$  du canal annulaire externe. Si la distance  $r$  est trop élevée, la zone de recirculation 20 devient instable. Dans de telles conditions, la distance  $r$  doit être comprise entre  $0,05D$  et  $0,5D$ .

- 10 **[0068]** En fonction de la distance  $r$ , le mélange va se faire plus ou moins précocement à l'intérieur du dispositif d'injection de dihydrogène 2 et d'air et si cela intervient trop précocement, la flamme 22 peut remonter à l'intérieur du canal annulaire externe 8 entre l'extrémité aval 16 du canal interne et l'extrémité aval 24 du canal annulaire externe, ce qui est très dommageable au dispositif et au fond de la chambre de combustion 4. La mise en  
15 rotation de la flamme 22 est donc configurée pour éviter que la flamme 22 ne remonte dans le dispositif d'injection de dihydrogène 2. Les paramètres à contrôler sont à la fois le taux de rotation  $S$  de l'écoulement dans le canal interne, le taux de rotation  $S_{ext}$ , et la distance  $r$ .

- [0069]** Dans le contexte du présent document, les vrilles 14,28 permettent de mettre en  
20 rotation un premier flux par rapport à un second flux. L'intégration de la vrille interne 14 au canal interne 6 permet de créer la zone de recirculation 20 d'un écoulement de dihydrogène traversant ledit canal interne 6 et évitant que la flamme ne vienne se stabiliser sur l'extrémité aval du canal interne. La vrille interne 14 du canal interne 6 met suffisamment en rotation l'écoulement de dihydrogène 2 pour créer une zone de recirculation pénétrant à l'intérieur  
25 du canal interne 6 ce qui bloque une partie de l'écoulement de dihydrogène le long de l'axe longitudinal  $x$  dudit canal interne 6 générant des survitesses importantes par rapport à la vitesse débitante axiale à proximité des parois du canal interne 6. La mise en rotation du dihydrogène du canal interne 6 permet d'éviter d'accrocher la flamme 22 sur les extrémités aval du canal annulaire externe 8 en la stabilisant aérodynamiquement au-dessus du canal  
30 interne 6. Cette mise en rotation du dihydrogène du canal interne 6 évite la mise en place d'un dispositif de refroidissement complexe du dispositif d'injection de dihydrogène 2.

- [0070]** Cette stabilisation de la flamme 22 à distance facilite le mélange partiel de l'air avec le dihydrogène à l'intérieur du canal externe 8 au-dessus de l'extrémité aval 16 du canal interne, en amont de la flamme 22, et en évitant tout risque de remontée de flamme 22,  
35 aussi appelé « flash back » en anglais, dans ledit canal interne 6 et dans le canal annulaire

externe 8 en amont de l'extrémité aval 16 du canal interne 6. Cela permet d'aboutir à une combustion appauvrie en dihydrogène dans la chambre de combustion. Ce dispositif tend ainsi à réduire très fortement les températures de combustion et des oxydes d'azote émis. Cela garantit également une intégrité d'un foyer de combustion.

- 5 **[0071]** Le positionnement de l'extrémité aval 16 du canal interne 6 en amont de l'extrémité aval 24 du canal annulaire externe 8 permet d'optimiser le mélange entre le dihydrogène et l'air. Cela augmente le domaine de fonctionnement où la flamme 22 est détachée en reculant la zone d'introduction de dihydrogène par rapport à la zone de stabilisation aérodynamique de la flamme.
- 10 **[0072]** L'optimisation faite de cet injecteur et de son architecture est spécifiquement orientée vers la combustion de dihydrogène. Le dihydrogène brûlant beaucoup plus vite que n'importe quel autre combustible et notamment le kérosène, les vitesses de rotation entre le dispositif d'injection 2 amenant le combustible et celui amenant l'air ne sont pas dans les mêmes ordres de grandeur que ceux employés pour le kérosène. Le kérosène  
15 étant liquide, des sections de passage de tels dispositifs d'injection de kérosène sont très petites. A la sortie d'un dispositif d'injection de kérosène, un canal de sortie est de l'ordre du millimètre ou inférieur au millimètre. Là où dans le présent document, l'ordre de grandeur est de plusieurs millimètres. Le fonctionnement est donc très différent pour un combustible gazeux tel que le dihydrogène.
- 20 **[0073]** Le dispositif d'injection est avantageusement mis en œuvre au sein d'un ensemble comprenant ledit dispositif d'injection, dans lequel le canal interne est relié fluidiquement à des moyens d'alimentation en dihydrogène et le canal annulaire externe est relié fluidiquement à des moyens d'alimentation en air.
- [0074]** Les moyens d'alimentation en dihydrogène sont notamment adaptés pour délivrer  
25 un flux de dihydrogène gazeux sans gaz diluant, c'est-à-dire un flux comprenant au moins 90% de dihydrogène en masse, et notamment au moins 95 % de dihydrogène en masse, et avantageusement au moins 99% de dihydrogène en masse. Les moyens d'alimentation en dihydrogène comprennent par exemple au moins un réservoir pressurisé muni d'au moins une vanne, et/ou au moins un dispositif de génération chimique de dihydrogène  
30 gazeux.
- [0075]** Les moyens d'alimentation en air sont notamment adaptés pour délivrer un flux d'air sans ajout de gaz diluant. Les moyens d'alimentation en air comprennent par exemple une entrée d'air atmosphérique en amont de la turbomachine. Cet air est comprimé avant d'entrer dans la chambre annulaire de combustion. Les moyens d'alimentation en air  
35 peuvent également comprendre une source de dioxygène pour l'enrichissement du flux d'air

en dioxygène. La source de dioxygène peut comprendre un réservoir de dioxygène pressurisé muni d'une vanne et/ou des moyens de génération chimique de dioxygène gazeux.

## Revendications

- [Revendication 1]** Dispositif d'injection de dihydrogène (2) d'axe longitudinal (X) destiné à être monté sur un fond annulaire d'une chambre annulaire (4) de combustion d'une turbomachine (1) comprenant un canal interne (6) de circulation de dihydrogène et un canal annulaire externe (8) de circulation d'un mélange comprenant au moins de l'air, le canal interne (6) et le canal annulaire externe (8) étant coaxiaux, une vrille interne (14) étant logée dans le canal interne (6) et une vrille externe (28) étant logée dans le canal annulaire externe (8), et dans lequel une extrémité aval (16) du canal interne (6) est agencée en amont, à une distance  $r$ , d'une extrémité aval (24) du canal annulaire externe (8).
- 5
- [Revendication 2]** Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le canal interne (6) est un canal central tubulaire.
- 10
- [Revendication 3]** Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel au moins la vrille interne (14) du canal interne (6) présente une forme hélicoïdale.
- [Revendication 4]** Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la vrille interne (14) est agencée selon l'axe longitudinal en aval de la vrille externe (28).
- 15
- [Revendication 5]** Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel un taux de rotation  $S$  généré par la vrille interne (14) du canal interne (6), défini comme un rapport entre une vitesse tangentielle et une vitesse débitante selon l'axe longitudinal d'un écoulement de dihydrogène en sortie de la vrille interne (14), est égal ou supérieur à 0,6.
- [Revendication 6]** Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la vrille interne (14) du canal interne (6) est agencée en amont, à une distance  $l$ , de l'extrémité aval (16) du canal interne (6).
- 20
- [Revendication 7]** Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel une épaisseur  $e$  d'une paroi du canal interne (6) et un diamètre interne  $d$  du canal interne (6) sont tel qu'un rapport  $e/d$  est compris entre 0,05 et 0,7.
- 25
- [Revendication 8]** Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le canal interne (6) a un diamètre interne  $d$  et le canal annulaire externe (8) a un diamètre interne  $D$  tels qu'un rapport  $D/d$  soit compris entre 3 et 10.
- [Revendication 9]** Dispositif selon les revendications 6 et 7, dans lequel un rapport  $l/d$  est compris entre 1 et 3.
- 30
- [Revendication 10]** Dispositif selon la revendication 8, dans lequel la distance  $r$  est comprise entre  $0,05D$  et  $0,5D$ .

**[Revendication 11]** Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la vrille externe (28) du canal annulaire externe (8) est agencée au niveau d'une extrémité amont (30) dudit canal annulaire externe (8), à une distance L de l'extrémité aval (24) du canal annulaire externe (8).

- 5 **[Revendication 12]** Dispositif selon les revendications 8 et 11, dans lequel la distance L est comprise entre 1D et 5D.

**[Revendication 13]** Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le taux de rotation S est supérieur à 0,6, une vitesse débitante  $u_i$  du dihydrogène dans le canal interne étant supérieure à une valeur critique  $u_{i,c}$  qui vérifie la relation suivante :

$$10 \quad \frac{u_{i,c}}{u_{i,c0}} = \left(\frac{S_0}{S}\right)^\beta \frac{P}{P_0} \left(\frac{T_a}{T_{a0}}\right)^{0.8}$$

Où :

- P est une pression dans la chambre annulaire de combustion ;
- S est un taux de rotation généré par la vrille interne (14) du canal interne (6) ;
- $T_a$  est une température de l'air en Kelvin dans le canal externe;
- 15 -  $\beta$  compris entre 1 et 1,5 est un facteur dépendant d'un type de vrille utilisée ;
- $S_0=0.6$ ,  $P_0=1$  bar,  $T_{a0}=300$  K et  $u_{i,c0}=18$  m/s.

**[Revendication 14]** Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le mélange est de l'air.

- 20 **[Revendication 15]** Ensemble comprenant le dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le canal interne (6), relié fluidiquement à des moyens d'alimentation en dihydrogène, comporte la vrille interne (14) configurée pour mettre en rotation ledit dihydrogène, et le canal annulaire externe (8), relié fluidiquement à des moyens d'alimentation en air, comporte la vrille externe (28) configurée pour mettre en rotation ledit air.

25

[Fig. 1]

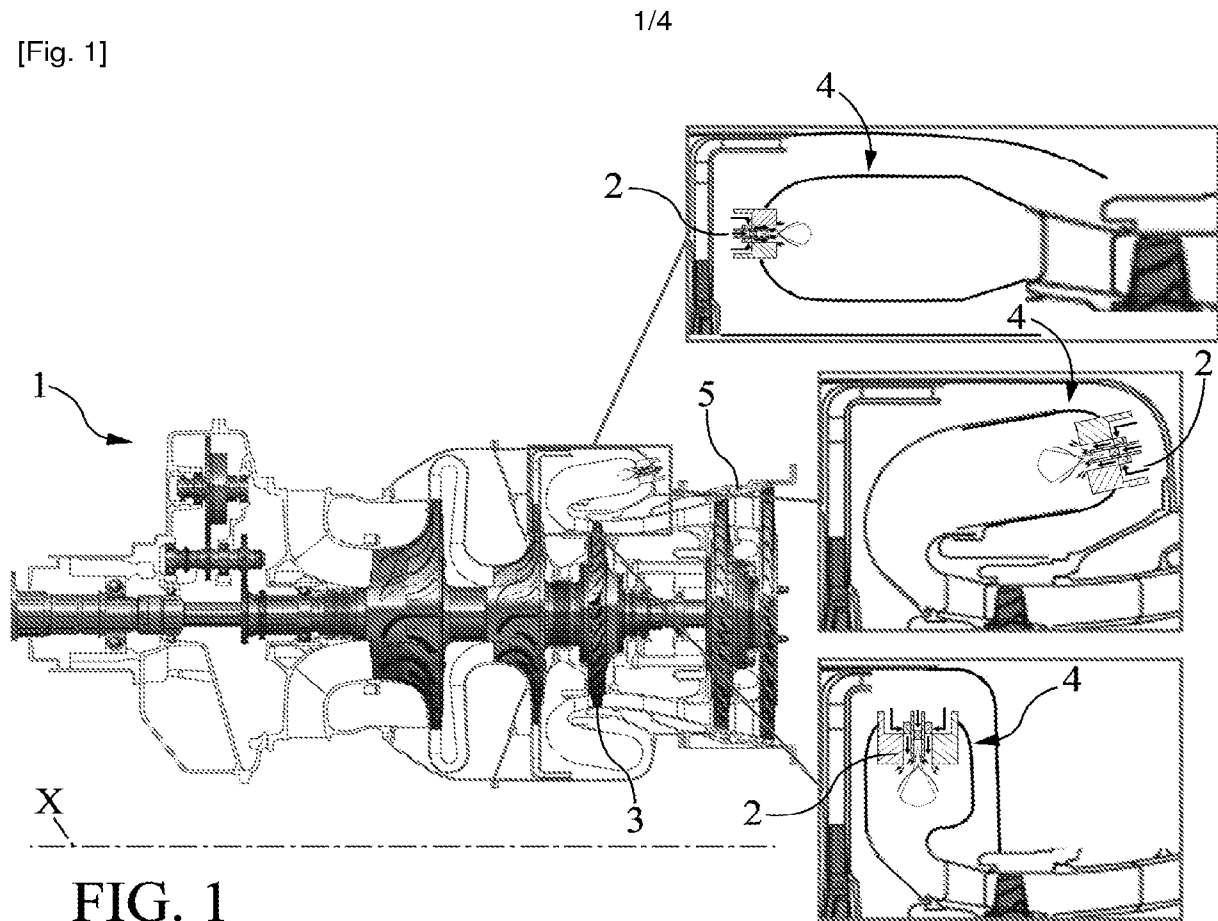


FIG. 1

[Fig. 2]

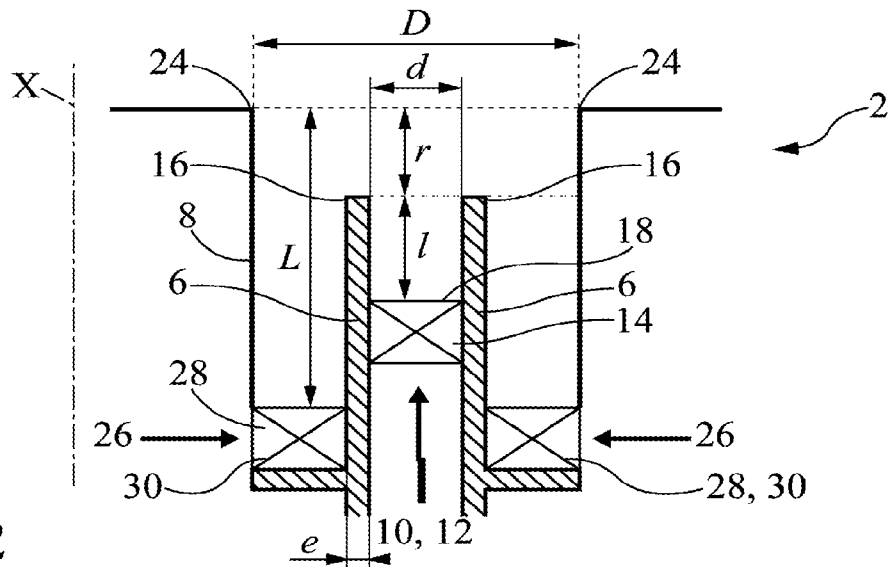


FIG. 2



[Fig. 4]

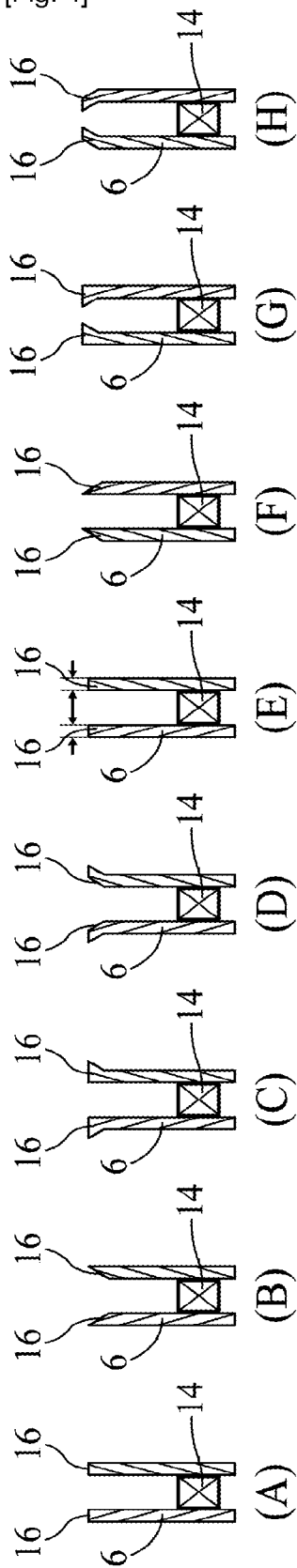


FIG. 4

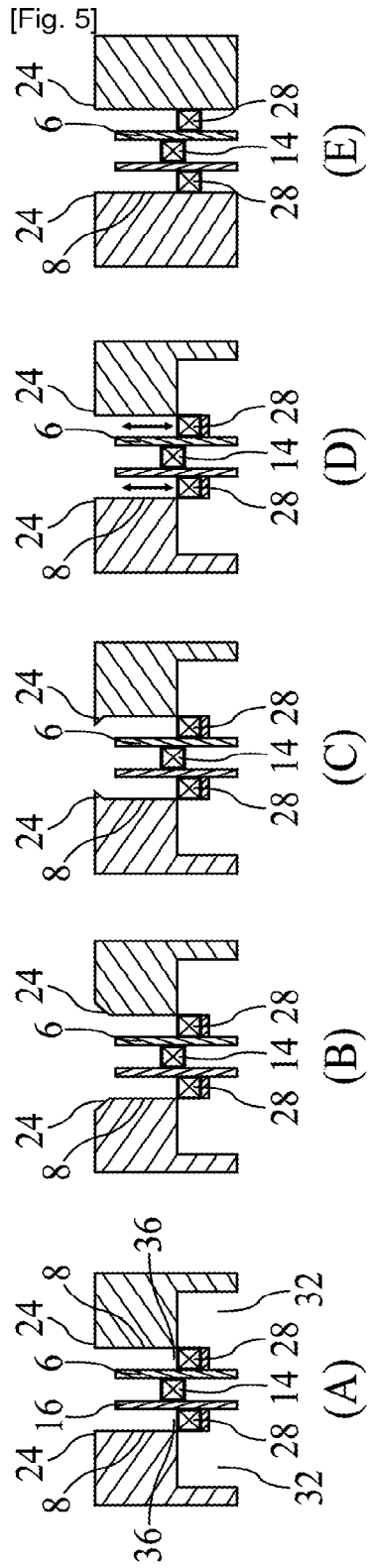


FIG. 5

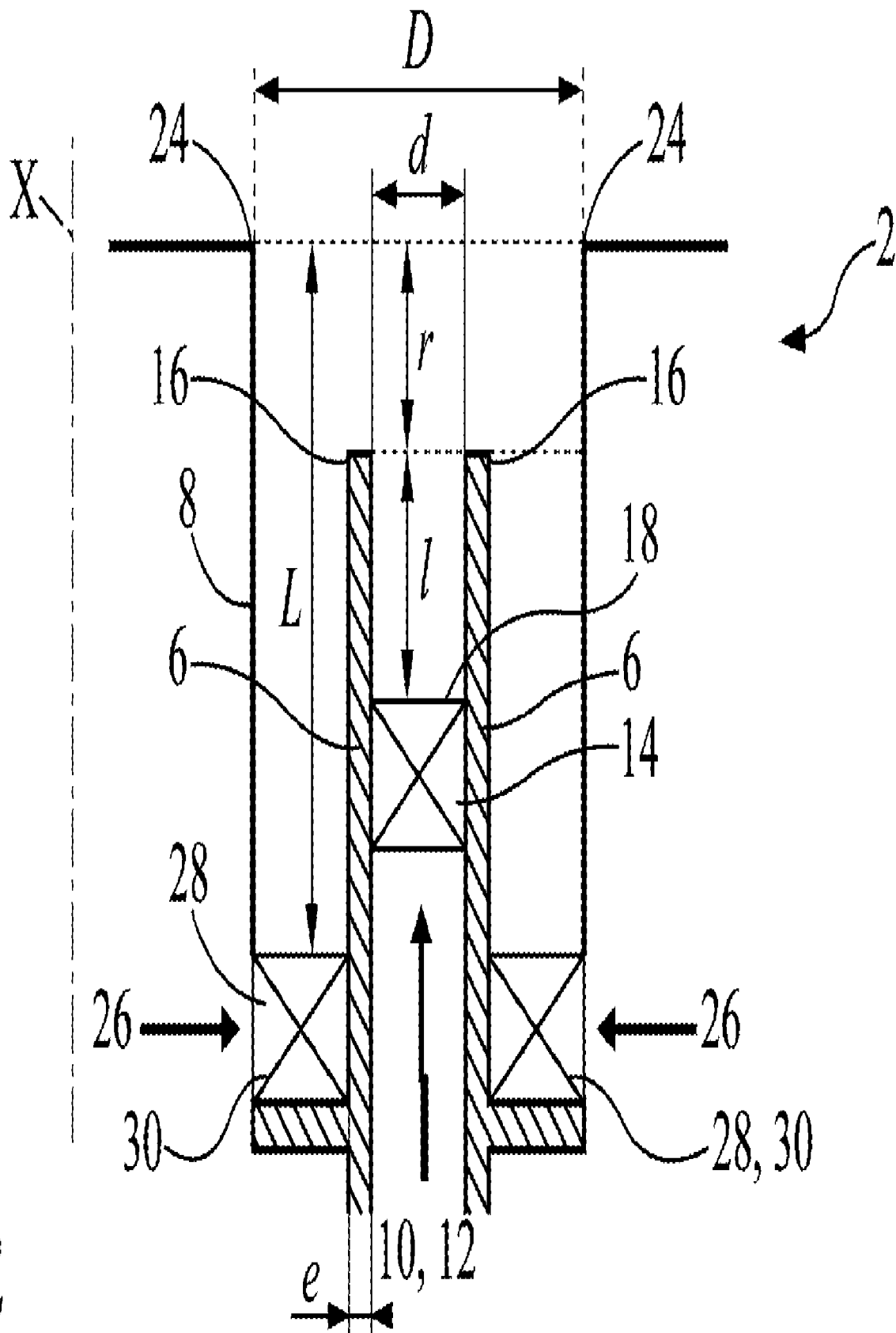


FIG. 2