

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

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2024/256771 A1**

(43) Date de la publication internationale  
19 décembre 2024 (19.12.2024)

(51) Classification internationale des brevets :  
F25B 9/02 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2024/050745

(22) Date de dépôt international :  
07 juin 2024 (07.06.2024)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
FR2306059 14 juin 2023 (14.06.2023) FR

(71) Déposant : **SAFRAN ELECTRONICS & DEFENSE**  
[FR/FR] ; 2 Boulevard du Général Martial Valin, 75015  
PARIS (FR).

(72) Inventeurs : **COTTEREAU, Bertrand** ; SAFRAN, c/  
o Centre d'Excellence Propriété Intellectuelle, Rond-point  
René Ravaud, Réau, 77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR).  
**PERCEAU, Marcellin** ; SAFRAN, c/o Centre d'Excel-

lence Propriété Intellectuelle, Rond-point René Ravaud, Ré-  
au, 77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR).

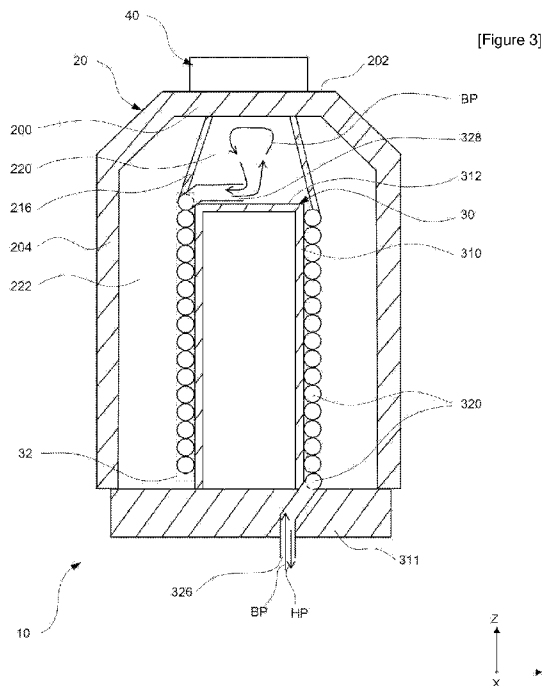
(74) Mandataire : **LEBKIRI, Alexandre** et al. ; Cabinet CA-  
MUS LEBKIRI, 25, rue de Maubeuge, 75015 PARIS (FR).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,  
HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,  
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,  
MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH,  
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS,  
ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection régionale disponible) : ARIPO (BW, CV, GH,  
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ,

(54) Title: HEAT EXCHANGER FOR A JOULE-THOMSON COOLER, AND JOULE-THOMSON COOLER

(54) Titre : ECHANGEUR THERMIQUE DE REFROIDISSEUR DU TYPE JOULE-THOMSON ET REFROIDISSEUR DU TYPE JOULE-THOMSON



(57) Abstract: A first aspect of the invention relates to a heat exchanger (30) for a Joule-Thomson cooler (10), comprising a main body (310) and at least one gas pipe (32) made from a material composed of ceramic and metal, surrounding the main body (310). A second aspect of the invention relates to a Joule-Thomson cooler (10), comprising: - a heat exchanger according to the first aspect, and - a casing (20), in which the heat exchanger is housed. A third aspect of the invention relates to a method for manufacturing a heat exchanger according to the first aspect, comprising at least one step of manufacturing the gas pipe comprising at least one step of forming the gas pipe by extrusion and a step of coiling the gas pipe.

(57) Abrégé : Un premier aspect de l'invention concerne un échangeur thermique (30) de refroidisseur (10) du type Joule-Thomson comprenant un corps principal (310) et au moins une conduite de gaz (32) dans un matériau composé de céramique et de métal entourant le corps principal (310). Un deuxième aspect de l'invention concerne un refroidisseur du type Joule-Thomson (10) comprenant : - un échangeur thermique selon le premier aspect, et - une enveloppe (20), dans laquelle est logé l'échangeur thermique. [00121] Un troisième aspect de l'invention concerne un procédé de fabrication d'un échangeur thermique selon le premier aspect comprenant au moins une étape de fabrication de la conduite de gaz comportant au moins une étape de formation de la conduite de gaz par extrusion et une étape d'enroulement de la conduite de gaz.



WO 2024/256771 A1

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, MC, ME, 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).

**Publiée:**

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

# TITRE : ECHANGEUR THERMIQUE DE REFROIDISSEUR DU TYPE JOULE-THOMSON ET REFROIDISSEUR DU TYPE JOULE- THOMSON

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

[0001] La présente invention se rapporte au domaine des refroidisseurs du type Joule-Thomson équipé d'un échangeur thermique.

[0002] Plus particulièrement, la présente invention concerne un refroidisseur de type Joule-Thomson, un échangeur thermique de refroidisseur Joule-Thomson et un  
10 procédé de fabrication d'un tel échangeur thermique.

## **ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION**

[0003] Classiquement, les refroidisseurs du type Joule-Thomson assurent un refroidissement cryogénique d'un élément en atteignant rapidement des basses  
15 températures de l'ordre de 120 Kelvin.

[0004] En général, les refroidisseurs du type Joule-Thomson sont configurés pour réaliser une détente contrôlée d'un gaz initialement sous haute-pression. La température du gaz détendu diminue fortement permettant de refroidir un élément au contact de celui-ci. Un tel refroidisseur est, par exemple, utilisé pour refroidir des  
20 éléments, tels que des détecteurs infrarouges et/ou des composants électroniques.

[0005] La figure 1 représente un exemple d'un refroidisseur 10 du type Joule-Thomson conventionnel. Le refroidisseur 10 du type Joule-Thomson comprend une enveloppe 20 et un échangeur thermique 30, logé à l'intérieur de l'enveloppe 20.

[0006] L'enveloppe 20, également désignée par le terme « doigt froid », comprend  
25 une paroi de contact 200 comportant une surface externe 202, apte à recevoir et/ou être en contact avec un élément à refroidir 40, tel qu'un détecteur infrarouge et/ou de composant électronique.

[0007] L'échangeur thermique 30 de refroidisseur 10 comprend :

– un corps principal 310 creux s'étendant selon un axe Z d'un repère XYZ entre  
30 une tête 311 et une paroi d'extrémité 312, fermant ensemble un espace intérieur du corps principal 310 ; la paroi d'extrémité 312 étant agencée en vis-à-vis de la surface externe 202 de l'enveloppe 20, et

- au moins une conduite de gaz 32 entourant le corps principal 310 de manière hélicoïdale.

[0008] L'enveloppe 20 contient un volume divisé en une zone d'expansion 210 et en une zone d'échanges thermiques 212 selon lesquelles :

- 5 – la zone d'expansion 210 s'étend, selon l'axe Z, entre la paroi de contact 202 de l'enveloppe 20 et la paroi d'extrémité 312 du corps principal 310 de l'échangeur thermique 30, et
- la zone d'échanges thermiques 212 s'étend, selon l'axe Z, entre la paroi d'extrémité 312 du corps principal 310 et la tête 311 de l'échangeur thermique 30 ; la zone d'échanges thermiques 210 étant ouverte à l'extérieur par une  
10 ouverture 214 formée entre l'enveloppe 20 et la tête 311.

[0009] L'échangeur thermique 30 est agencé à l'intérieur de l'enveloppe 20 de sorte que la tête 311 soit au moins en partie disjointe d'une paroi périphérique 204 de l'enveloppe 20, afin de définir l'ouverture 214 formée entre l'enveloppe 20 et la tête  
15 311.

[0010] La conduite de gaz 32 de l'échangeur thermique 30 comprend un tube 320, de centre longitudinal O et s'étendant longitudinalement entre :

- une entrée 326, traversant la tête 311 de l'échangeur thermique 30, apte à être reliée à une source externe de gaz comprimé sous haute-pression (non  
20 représentée), et
- une sortie 328, débouchant dans la zone d'expansion 210 de l'enveloppe 20.

[0011] Tel que représenté sur les figures 2A et 2B, le tube 320 de la conduite de gaz 32 comprend une surface extérieure 321 et des ailettes 330 s'étendant respectivement radialement depuis la surface extérieure 321 et perpendiculairement  
25 autour du tube 320.

[0012] La conduite de gaz 32 est enroulée autour du corps principal 310 de l'échangeur thermique 30, de sorte que le tube 320 est enroulé autour du corps principal 310 selon un pas « p » selon l'axe Z.

[0013] Le fonctionnement du refroidisseur 10 du type Joule-Thomson comprend  
30 les étapes suivantes :

- ouverture d'une vanne en amont de l'entrée 326 du tube 320, pendant laquelle un gaz haute-pression HP subit une première phase de détente, et puis est admis, une fois détendu, dans le tube 320 par l'entrée 326 ;

- circulation du gaz dans le tube 320 jusqu'à la sortie 328, pendant laquelle le gaz subit une deuxième phase de détente entraînant un refroidissement progressif ;
- éjection du gaz dans la zone d'expansion 210 de l'enveloppe 20, pendant laquelle le gaz subit une troisième phase de détente entraînant également un refroidissement progressif, de sorte que, en sortie de la zone d'expansion 210, le gaz est un gaz basse-pression BP ;
- circulation du gaz basse-pression BP dans la zone d'échanges thermiques 212 jusqu'à l'ouverture 214, pendant laquelle le gaz basse-pression BP refroidit le tube 320 et donc le gaz circulant dans le tube 320 ; et
- évacuation du gaz basse-pression BP à l'extérieur, notamment dans l'atmosphère ambiante, par l'ouverture 214.

[0014] Pendant les étapes de circulation du gaz haute-pression HP, du gaz circulant dans le tube 320, également désigné par « gaz de la conduite de gaz 32 », et du gaz basse-pression BP, la présence d'ailettes 330 permet d'augmenter une surface d'échanges thermiques entre le gaz basse-pression BP, contenu dans la zone d'échanges thermiques 212 de l'enveloppe 20, et le gaz de la conduite de gaz 32, plus chaud que le gaz basse-pression BP, pour améliorer le refroidissement du gaz de la conduite de gaz 32.

[0015] En effet, les performances du refroidisseur 10 du type Joule-Thomson présentant une telle géométrie sont proportionnelles :

- aux capacités de détente du gaz haute-pression HP et du gaz de la conduite de gaz 32,
- aux capacités d'échanges thermiques entre le gaz basse-pression BP et le gaz de la conduite de gaz 32.

[0016] De plus, les performances du refroidisseurs 10 sont inversement proportionnelles à la quantité d'énergie thermique transmise entre un environnement chaud en contact avec la tête 311 et la sortie 328 du tube 320 de la conduite de gaz 32.

[0017] Généralement, la conduite de gaz 32 d'un tel échangeur thermique 30 est réalisée dans un matériau métallique. Les procédés de fabrication des conduites de gaz 32 métalliques sont bien connus et maîtrisés. Cependant, ils comprennent

différentes étapes de fabrication augmentant le coût de fabrication de l'échangeur thermique 30.

[0018] De plus, la conductivité thermique des matériaux métalliques étant sensiblement élevée, une quantité d'énergie thermique transmise longitudinalement le long du tube 320 enroulée hélicoïdalement entre l'entrée 326, proche de la vanne, et la sortie 328 du tube 320 ne sont pas minimisées, diminuant les performances d'un tel refroidisseur 10 du type Joule-Thomson.

[0019] La conductivité thermique de la céramique étant inférieure à celle du métal, il a donc été envisagé d'utiliser la céramique pour la fabrication des refroidisseurs Joule-Thomson et plus particulièrement pour la fabrication des échangeurs thermiques 30.

[0020] Cependant, la fabrication de la conduite de gaz 32 de l'échangeur thermique 30 par un procédé de fabrication additive avec un matériau céramique est complexe.

[0021] En effet, les différentes contraintes de fabrication associées aux techniques d'impression 3D (trois dimensions) en céramique, telles qu'une épaisseur minimale de parois et un angle de dépouille minimal ne permettent pas de fabriquer une conduite de gaz 32 hélicoïdale telles que celles intégrées dans les échangeurs thermiques 30 conventionnels.

[0022] De plus, l'utilisation d'un matériau céramique pour fabriquer le tube 320 de la conduite de gaz diminue les capacités d'échanges thermiques entre le gaz basse-pression BP froid et le gaz de la conduite de gaz 32 et altèreraient les performances du refroidisseur Joule-Thomson 10.

## RESUME DE L'INVENTION

[0023] L'invention offre une solution aux problèmes évoqués précédemment en proposant un échangeur thermique de refroidisseur du type Joule-Thomson présentant une architecture et une constitution particulières.

[0024] Un premier aspect de l'invention concerne un échangeur thermique de refroidisseur du type Joule-Thomson comprenant un corps principal et au moins une conduite de gaz entourant le corps principal, en particulier de manière hélicoïdale, la conduite de gaz étant dans un matériau composé de céramique et de métal.

[0025] L'échangeur thermique selon le premier aspect de l'invention permet, grâce à l'utilisation d'un matériau composé de céramique et de métal, de minimiser un

transfert d'énergie thermique le long de la conduite de gaz tout en maintenant de bonnes capacités d'échanges thermiques de la conduite de gaz.

[0026] Selon un premier mode de réalisation de l'invention, la conduite de gaz comprend un tube comportant au moins un canal haute-pression et au moins un canal basse-pression, s'étendant notamment selon toute la longueur du tube.

[0027] Dans un tel cas, les échanges thermiques entre le gaz du canal basse-pression et le gaz du canal haute-pression sont réalisées par conduction directement à l'intérieur du tube de la conduite de gaz. La proximité entre le canal basse-pression et le canal haute-pression permet d'améliorer les échanges thermiques et donc le refroidissement du gaz contenu dans le canal haute-pression.

[0028] En particulier, selon le premier mode de réalisation, le tube de la conduite de gaz présente un volume global de canal haute-pression inférieur à un volume global de canal basse-pression du tube.

[0029] Une telle caractéristique permet d'optimiser le refroidissement du gaz contenu dans le canal haute-pression par le gaz contenu dans le canal basse-pression, ce dernier ayant un volume plus important dans le tube de la conduite de gaz.

[0030] Par volume global de canal haute-pression ou volume global de canal basse-pression, on entend le volume total de l'un ou des canaux respectivement haute-pression ou basse-pression. Autrement dit, le tube comprend une section selon laquelle la section du canal haute-pression ou bien la somme des sections des canaux haute-pression est inférieure à la section du canal basse-pression ou bien la somme des sections des canaux basse-pression du tube.

[0031] Par ailleurs, selon le premier mode de réalisation, le tube de la conduite de gaz présente un centre longitudinal O, en particulier de forme hélicoïdale. Dans une telle configuration, le canal haute-pression est de centre longitudinal O et le canal basse-pression est réparti autour du canal haute-pression.

[0032] Alternativement, le canal basse-pression est de centre longitudinal O et le canal haute-pression est réparti autour du canal basse-pression

[0033] Une telle caractéristique permet d'améliorer l'homogénéité du refroidissement du gaz circulant dans le canal haute-pression.

[0034] Selon un exemple de ce premier mode de réalisation, le tube de la conduite de gaz comprend un seul canal haute-pression. Selon une autre variante du premier mode de réalisation, le tube comprend plusieurs canaux haute-pression répartis

angulairement autour du centre longitudinal O du tube, avec les canaux basse-pression ou bien autour d'un seul canal basse-pression.

[0035] Selon le premier mode de réalisation, le canal haute-pression et le canal basse-pression du tube de la conduite de gaz sont étanches l'un de l'autre.

5 [0036] Selon une variante de l'échangeur thermique selon le premier mode de réalisation, l'échangeur thermique comprend une conduite de gaz interne directement enroulée autour du corps principal et une conduite de gaz externe enroulée autour de la conduite de gaz interne. Un tel agencement permet d'accélérer le processus de refroidissement de l'échangeur thermique.

10 [0037] Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, la conduite de gaz comprend un tube comportant une surface externe et des ailettes s'étendant longitudinalement depuis une surface externe du tube selon toute la longueur du tube.

[0038] Dans un tel cas, les échanges thermiques entre le gaz contenu à l'extérieur de la conduite de gaz et le gaz contenu à l'intérieur de la conduite de gaz du canal  
15 haute-pression sont réalisés par conduction à travers la paroi du tube de la conduite de gaz.

[0039] La présence d'ailettes longitudinales permet d'augmenter la surface d'échanges thermiques de la conduite de gaz et ainsi améliorer le refroidissement du gaz contenu dans le tube de la conduite de gaz.

20 [0040] Le fait que les ailettes s'étendent longitudinalement seulement sur une demi-circonférence du tube permet de réduire l'encombrement de la conduite de gaz, sans détériorer la qualité des échanges thermiques, par rapport à la présence d'ailettes s'étendant radialement selon l'art antérieur.

[0041] Avantageusement, selon le deuxième mode de réalisation, la surface  
25 externe est divisée en deux portions semi-circulaires dont une première portion semi-circulaire est agencée en regard du corps principal de l'échangeur thermique et une deuxième portion semi-circulaire est opposée à la première portion circonférentielle.

[0042] Selon le deuxième mode de réalisation, les ailettes longitudinales de la conduite de gaz s'étendant depuis la deuxième portion semi-circulaire.

30 [0043] Une telle caractéristique permet de réduire l'encombrement de la conduite de gaz. En outre, cela permet de réduire la quantité d'ailettes de la conduite de gaz tout en maintenant une surface importante d'échanges thermiques de la conduite de gaz.

[0044] Préférentiellement, selon le deuxième mode de réalisation, les ailettes de la conduite de gaz sont parallèles les unes par rapport aux autres. Une telle caractéristique permet de simplifier la fabrication de la conduite de gaz et de minimiser son encombrement.

5 [0045] Un deuxième aspect de l'invention concerne un refroidisseur du type Joule-Thomson comprenant un échangeur thermique selon le premier aspect de l'invention, et une enveloppe dans laquelle est logé l'échangeur thermique.

[0046] De plus, l'enveloppe peut comprendre une paroi de contact comportant une surface externe apte à recevoir un élément à refroidir.

10 [0047] Par ailleurs, selon le deuxième aspect de l'invention, l'enveloppe comprend une paroi d'étanchéité s'étendant de la paroi de contact jusqu'à l'échangeur thermique.

[0048] Plus particulièrement, la paroi d'étanchéité forme : une chambre de refroidissement s'étendant entre la paroi de contact de l'enveloppe et une paroi d'extrémité du corps principal de l'échangeur thermique.

15 [0049] Optionnellement, la paroi d'étanchéité peut également permettre de former une zone sous-vide s'étendant entre l'enveloppe et la conduite de gaz.

[0050] Une telle géométrie du refroidisseur du type Joule-Thomson permet avec un échangeur selon le premier mode de réalisation, notamment par la présence d'une zone sous-vide, d'isoler thermiquement la conduite de gaz et ainsi de minimiser la  
20 quantité d'énergie thermique transmise à l'intérieur de la conduite de gaz.

[0051] Un troisième aspect de l'invention concerne un procédé de fabrication d'un échangeur thermique selon le premier aspect de l'invention selon il comprend au moins une étape de fabrication de la conduite de gaz comportant au moins :

- une étape de formation de la conduite de gaz par extrusion, et
- 25 – une étape d'enroulement de la conduite de gaz, notamment de manière hélicoïdale.

[0052] Un tel procédé de fabrication, permet, grâce à la mise en œuvre du matériau composé de céramique et de métal, par extrusion, de former la conduite de gaz en une seule étape de fabrication.

30 [0053] Notamment, selon une première variante du troisième aspect de l'invention, l'étape de formation et l'étape d'enroulement de la conduite de gaz sont réalisées simultanément par une buse d'extrusion mobile tournant autour du corps principal de l'échangeur thermique.

[0054] De plus, l'étape de formation et l'étape d'enroulement de la conduite de gaz peuvent être réalisées simultanément à une étape de mise en rotation du tube.

[0055] Selon une deuxième variante du troisième aspect de l'invention, l'étape d'enroulement de la conduite de gaz est réalisée après l'étape de formation de la  
5 conduite de gaz.

[0056] Un quatrième aspect de l'invention, concerne un échangeur thermique de refroidisseur du type Joule-Thomson comprenant un corps principal et une conduite de gaz enroulée, notamment de manière hélicoïdale, autour du corps principal. La  
10 conduite de gaz comprend un tube dans lequel est formé au moins un canal haute-pression et au moins un canal basse-pression chacun s'étendant selon toute la longueur du tube.

[0057] Un cinquième aspect de l'invention, concerne un échangeur thermique de refroidisseur du type Joule-Thomson comprenant un corps principal et une conduite de gaz enroulée, notamment de manière hélicoïdale, autour du corps principal. La  
15 conduite de gaz comprend un tube de centre longitudinal O comportant une surface externe entourant au moins un canal haute-pression et des ailettes s'étendant longitudinalement depuis de la surface externe du tube selon toute la longueur du tube.

[0058] Avantageusement, selon le quatrième aspect de l'invention ou le cinquième aspect de l'invention, la conduite de gaz est dans un matériau métallique.

[0059] Avantageusement, selon le cinquième aspect de l'invention, la surface externe est divisée en deux portions semi-circulaire égales dont une première portion semi-circulaire agencée en regard du corps principal et une deuxième portion semi-circulaire opposée à la première portion semi-circulaire, et chacune des ailettes  
20 longitudinales de la conduite de gaz s'étendant depuis la deuxième portion semi-circulaire.

[0060] L'invention et ses différentes applications seront mieux comprises à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent.

[0061] Bien entendu les différentes caractéristiques, variantes et/ou formes de réalisation de la présente invention peuvent être associées les unes avec les autres  
30 selon diverses combinaisons dans la mesure où elles ne sont pas incompatibles ou exclusives les unes des autres.

**BREVE DESCRIPTION DES FIGURES**

[0062] La présente invention sera mieux comprise et d'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront encore à la lecture de la description détaillée qui suit, comprenant des modes de réalisation donnés à titre illustratif en référence avec les figures annexées, présentés en tant qu'exemples non limitatifs, qui pourront servir à compléter la compréhension de la présente invention et l'exposé de sa réalisation et, le cas échéant, contribuer à sa définition, dans lesquelles :

- La figure 1 est une représentation schématique en coupe d'un refroidisseur Joule-Thomson comprenant une enveloppe et un échangeur thermique équipé d'une conduite de gaz selon l'état de la technique ;
- La figure 2A est une représentation schématique partielle en coupe de la conduite de gaz de la figure 1 ;
- La figure 2B est une vue en coupe partielle selon le plan de coupe B-B de la conduite de gaz de la figure 2A ;
- La figure 3 est une représentation schématique en coupe d'un mode de réalisation d'un refroidisseur du type Joule-Thomson selon l'invention ;
- La figure 4 est une représentation schématique en coupe d'un mode alternatif de réalisation d'un refroidisseur du type Joule-Thomson selon l'invention ;
- La figure 5A est une représentation schématique partielle en coupe d'une première variante d'un premier mode de réalisation de la conduite de gaz de la figure 4 ;
- La figure 5B est une vue en coupe partielle selon un plan de coupe B-B de la conduite de gaz de la figure 5A ;
- La figure 6A est une représentation schématique partielle en coupe d'une deuxième variante du premier mode de réalisation de la conduite de gaz de la figure 4 ;
- La figure 6B est une vue en coupe partielle selon un plan de coupe B-B de la conduite de gaz de la figure 6A ;
- La figure 7A est une représentation schématique partielle en coupe d'une troisième variante du premier mode de réalisation de la conduite de gaz de la figure 4 ;
- La figure 7B est une vue en coupe partielle selon un plan de coupe B-B de la conduite de gaz de la figure 7A ;

- La figure 8A est une représentation schématique partielle en coupe d'une quatrième variante du premier mode de réalisation de la conduite de gaz de la figure 4 ;
- La figure 8B est une vue en coupe partielle selon un plan de coupe B-B de la conduite de gaz de la figure 8A ;
- La figure 9A est une représentation schématique partielle en coupe d'un deuxième mode de réalisation de la conduite de gaz de la figure 4 ; et
- La figure 9B est une vue en coupe partielle selon un plan de coupe B-B de la conduite de gaz de la figure 9A.

### DESCRIPTION DETAILLEE

[0063] Un exemple de réalisation d'un refroidisseur du type Joule-Thomson comprenant un échangeur thermique selon l'invention est décrit en détail ci-après, en référence aux dessins annexés. L'exemple de réalisation présenté illustre les caractéristiques et avantages de l'invention.

[0064] Il est à noter que, sur les figures, sauf précision contraire, un même élément structurel et/ou fonctionnel commun aux différents modes de réalisation apparaissant sur des figures différentes présente une référence unique. Ainsi, sauf mention contraire, de tels éléments disposent de propriétés structurelles, dimensionnelles et matérielles identiques.

[0065] Pour une compréhension de l'invention, un repère orthonormé XYZ indiqué sur les figures est défini dont les axes X et Y s'étendent dans un plan horizontal et l'axe Z s'étend dans un plan vertical, suivant l'orientation aux figures.

[0066] En particulier, une tête vers une paroi d'extrémité d'un échangeur thermique peut être orientée selon l'axe Z du repère XYZ.

[0067] La figure 3 représente un refroidisseur 10 du type Joule-Thomson selon un premier mode de réalisation de l'invention comprenant une enveloppe 20 et un échangeur thermique 30 logé à l'intérieur de l'enveloppe 20.

[0068] L'enveloppe 20, également désignée par le terme « doigt froid », comprend :

- une paroi de contact 200 comportant une surface externe 202, apte à recevoir un élément à refroidir 40, tel qu'un détecteur infrarouge et/ou composant électronique, et
- une paroi périphérique 204 s'étendant selon l'axe Z.

[0069] L'enveloppe 20 contient un volume divisé en une chambre de refroidissement 220 et une zone sous-vide 222 séparées l'une de l'autre par une paroi d'étanchéité 216 s'étendant depuis la paroi de contact 200 de l'enveloppe 20.

[0070] La chambre de refroidissement 220 s'étend selon l'axe Z entre la paroi de contact 202 de l'enveloppe 20 et la paroi d'extrémité 312 du corps principal 310 de l'échangeur thermique 30 et est entourée par la paroi d'étanchéité 216 de l'enveloppe 20 selon les axes X et Y.

[0071] La zone sous-vide 222 s'étend selon l'axe Z entre la paroi de contact 200 de l'enveloppe 20 et la tête 311 de l'échangeur thermique 30 et est comprise entre la paroi d'étanchéité 216 et la paroi périphérique 204 de l'enveloppe 20 selon les axes X et Y.

[0072] La paroi d'étanchéité 216 est définie et agencée dans le refroidisseur 10 du type Joule-Thomson de sorte que la chambre de refroidissement 220 et la zone sous-vide 222 soient physiquement séparées. Ainsi, aucune communication de gaz ne peut se faire depuis la chambre de refroidissement 220 vers la zone sous-vide 222, et inversement.

[0073] La présence d'une zone sous-vide 222 permet d'assurer une isolation thermique autour de la conduite de gaz 32.

[0074] L'échangeur thermique 30 de refroidisseur 10 comprend :

- un corps principal 310 creux s'étendant selon l'axe Z du repère XYZ, et
- une conduite de gaz 32 entourant le corps 310, notamment de manière hélicoïdale.

[0075] De plus, le corps principal 310 de l'échangeur thermique 30 comprend une tête 311 et une paroi d'extrémité 312 agencés respectivement à une extrémité axiale du corps principal 310. Le corps principal 310 est configuré pour fermer un espace intérieur du corps principal 310.

[0076] L'échangeur thermique 30 est agencé à l'intérieur de l'enveloppe 20 de sorte que la tête 311 soit en appui contre une paroi périphérique 204 de l'enveloppe 20. Par ailleurs, l'échangeur thermique 30 peut être agencé à l'intérieur de l'enveloppe 20 de sorte que la paroi d'extrémité 312 soit en vis-à-vis de la surface externe 202 de la paroi de contact 200 de l'enveloppe 20.

[0077] La conduite de gaz 32 de l'échangeur thermique 30 comprend un tube 320 de centre longitudinal O comprenant une surface extérieure 321 et s'étendant longitudinalement entre :

- une entrée 326, traversant la tête 311 de l'échangeur thermique 30, apte à être reliée à une source externe de gaz comprimé sous haute-pression (non représentée), et
- une sortie 328, débouchant dans la chambre de refroidissement 220 de l'enveloppe 20.

[0078] La conduite de gaz 32 est enroulée autour du corps principal 310 de l'échangeur thermique 30, de sorte que le tube 320 est enroulé autour du corps principal 310 selon un pas « p » selon l'axe Z.

[0079] La figure 4 est une représentation schématique en coupe d'un mode alternative de réalisation du refroidisseur 10 du type Joule-Thomson comprenant l'échangeur thermique 30 selon l'invention.

[0080] Selon une variante de réalisation de l'échangeur thermique 30 tel que représenté à la figure 4, l'échangeur thermique 30 comprend une conduite de gaz interne 32A directement enroulée autour du corps principal 310 et une conduite de gaz externe 32B enroulée autour de la conduite de gaz interne 32A.

[0081] Ainsi, la conduite de gaz interne 32A de l'échangeur thermique 30 comprend un tube interne 320A comprenant une surface extérieure et s'étendant longitudinalement entre :

- une entrée interne 326A, traversant la tête 311 de l'échangeur thermique 30, apte à être reliée à une source externe de gaz comprimé sous haute-pression (non représentée), et
- une sortie interne 328A, débouchant dans la chambre de refroidissement 220 de l'enveloppe 20.

[0082] De même, la conduite de gaz externe 32B de l'échangeur thermique 30 comprend un tube externe 320B comprenant une surface extérieure et s'étendant selon le centre longitudinal O et longitudinalement entre :

- une entrée externe 326B, traversant la tête 311 de l'échangeur thermique 30, apte à être reliée à une source externe de gaz comprimé sous haute-pression (non représentée), et
- une sortie externe 328B, débouchant dans la chambre de refroidissement 220 de l'enveloppe 20.

[0083] La conduite de gaz interne 32 A est enroulée autour du corps principal 310 de l'échangeur thermique 30, de sorte que le tube interne 320A est enroulé autour du corps principal 310 selon un pas « p » selon l'axe Z.

[0084] Par ailleurs, la conduite de gaz externe 32 A est enroulée autour la conduite de gaz interne 32A, de sorte que le tube externe 320B est enroulé autour du tube interne 320A selon un pas « p » selon l'axe Z.

[0085] Tel que représenté à la figure 4, l'échangeur thermique 30 peut comprendre un fourreau 314 s'étendant de la paroi d'extrémité 312 et dans lequel débouche chaque sortie 328A, 328B des conduites interne 326A et externe 326B.

[0086] Selon le premier mode de réalisation de l'invention, le tube 320 de la conduite de gaz 32 comprend au moins un canal haute-pression 322 et au moins un canal basse-pression 324, en particulier s'étendant respectivement selon toute la longueur du tube 320.

[0087] Les canaux haute-pression 322 et les canaux basse-pression 324 sont séparés étanchement les uns par rapport aux autres par des parois inter-canaux 323.

[0088] Le tube 320 peut présenter une section selon laquelle la somme des sections des canaux haute-pression 322 est inférieure à la somme des sections des canaux basse-pression 324 du tube 320.

[0089] La surface extérieure 321 du tube 320 de la conduite de gaz 32 est divisée en deux demi-cercles dont :

- une première portion semi-circulaire 321A est agencée en regard du corps principal 310 de l'échangeur thermique 30, et
- une deuxième portion semi-circulaire 321B est agencée en regard de la zone sous-vide 222 de l'enveloppe 20.

[0090] La présence de canaux haute-pression 322 et de canaux basse-pression 324 dans le tube 320 de la conduite de gaz 32 permet de réaliser des échanges thermiques entre le gaz basse-pression BP du canal basse-pression 324 et le gaz du canal haute-pression 322 par conduction directement à l'intérieur du tube 320 de la conduite de gaz 32. La proximité entre le canal basse-pression 324 et le canal haute-pression 322 permet d'améliorer les échanges thermiques et donc le refroidissement du gaz contenu dans le canal haute-pression 322.

[0091] Dans le premier mode de réalisation, la conduite de gaz 32 peut être réalisée selon différentes variantes décrites ci-après.

[0092] Les figures 5A et 5B sont respectivement une représentation schématique partielle en coupe d'une première variante d'un premier mode de réalisation de la

conduite de gaz de la figure 4 et une vue en coupe partielle selon un plan de coupe B-B de la figure 5A ;

[0093] Selon la première variante de la conduite de gaz 32 telle que représentée aux figures 5A et 5B, le tube 320 comprend :

- 5           – un seul canal haute-pression 322 circulaire de centre longitudinal O du tube 320 de forme hélicoïdale, et
- deux canaux basse-pression 324 répartis autour du canal haute-pression 322.

[0094] Optionnellement, chaque canal basse-pression 324 présente une section  
10 en forme d'un arc de cercle. En particulier, les canaux basse-pression 324 sont agencés symétriquement de part et d'autre du canal haute-pression 322.

[0095] Les figures 6A et 6b sont respectivement une représentation schématique partielle en coupe d'une deuxième variante du premier mode de réalisation de la  
15 conduite de gaz de la figure 4 et une vue en coupe partielle selon un plan de coupe B-B de la conduite de gaz de la figure 6A.

[0096] Selon la deuxième variante de la conduite de gaz 32 telle que représentée aux figures 6A et 6B, le tube 320 comprend :

- un seul canal haute-pression 322, notamment circulaire ,de centre longitudinal O du tube 320, et
- 20           – quatre canaux basse-pression 324, en particulier circulaires et spécifiquement de même diamètre, répartis, notamment régulièrement, autour du canal haute-pression 322.

[0097] Les figures 7A et 7B sont respectivement une représentation schématique partielle en coupe d'une troisième variante du premier mode de réalisation de la  
25 conduite de gaz de la figure 4 et une vue en coupe partielle selon un plan de coupe B-B de la conduite de gaz de la figure 7A.

[0098] Selon la troisième variante de la conduite de gaz 32 telle que représentée aux figures 7A et 7B, le tube 320 comprend :

- 30           – un seul canal haute-pression 322, notamment circulaire, de centre longitudinal O du tube 320, et
- six canaux basse-pression 324, en particulier circulaires et spécifiquement de même diamètre, répartis, notamment régulièrement, autour du canal haute-pression 322.

[0099] Les figures 8A est une représentation schématique partielle en coupe d'une quatrième variante du premier mode de réalisation de la conduite de gaz de la figure 4 et une vue en coupe partielle selon un plan de coupe B-B de la conduite de gaz de la figure 8A.

5 [00100] Selon la quatrième variante de la conduite de gaz 32 telle que représentée aux figures 8A et 8B, le tube 320 comprend :

- un premier canal haute-pression 322, notamment circulaire, de centre longitudinal O du tube 320,
- quatre canaux basse-pression 324, notamment circulaires et spécifiquement  
10 de même diamètre, répartis autour du canal haute-pression 322, et
- quatre deuxièmes canaux haute-pression 322', notamment circulaires de même diamètre, répartis chacun entre deux canaux basse-pression 324.

[00101] Selon une alternative de la quatrième variante de la conduite de gaz 32, le diamètre de chaque canal basse-pression 324 est supérieur au diamètre de chaque  
15 canal haute-pression 322.

[00102] Le fonctionnement du refroidisseur du type Joule-Thomson 10 selon le premier mode de réalisation comprend les étapes suivantes :

- une étape d'ouverture, au cours de laquelle une vanne en amont de l'entrée 326, respectivement l'entrée interne 326A et l'entrée externe 326B, du tube  
20 320, respectivement du tube interne 320A et du tube externe 320B, de la conduite de gaz 32 de l'échangeur thermique 30 est ouverte pendant laquelle le gaz haute-pression HP subi une première phase de détente,
- une étape d'admission de gaz, au cours de laquelle le gaz en tout ou partie détendu est admis dans chaque canal haute-pression 322 du tube 320,  
25 respectivement du tube interne 320A et du tube externe 320B, de la conduite de gaz 32 par l'entrée 326, respectivement l'entrée interne 326A et l'entrée externe 326B,
- une étape de circulation de gaz, au cours de laquelle le gaz circule dans chaque canal haute-pression 322 du tube 320, respectivement du tube  
30 interne 320A et du tube externe 320B, jusqu'à la sortie 328, respectivement la sortie interne 328A et la sorite externe 328B, pendant laquelle le gaz subi une deuxième phase de détente entraînant un refroidissement progressif,
- une étape d'éjection du gaz, au cours de laquelle le gaz est éjecté par la sortie 328, respectivement la sortie interne 328A et la sortie externe 328B, dans la

chambre de refroidissement 220 de l'enveloppe 20 de sorte que, à la sortie 328, respectivement la sortie interne 328A et la sortie externe 328B, le gaz subit une dernière phase de détente et devient un gaz basse-pression BP froid,

- 5 – une étape d'admission de gaz BP, au cours de laquelle le gaz basse-pression BP est admis dans chaque canal basse-pression 324 du tube 320 de la conduite de gaz 32 par la sortie 328, respectivement la sortie interne 328A et la sortie externe 328B,
- 10 – une étape de circulation du gaz BP, au cours de laquelle le gaz basse-pression BP circule jusqu'à l'entrée 326, respectivement l'entrée interne 326A et l'entrée externe 326B, pendant laquelle le gaz basse-pression BP de chaque canal basse-pression 324 échange de l'énergie thermique avec le gaz circulant dans chaque canal haute-pression 322 pour le refroidir, et
- 15 – une évacuation du gaz BP, au cours de laquelle le gaz basse-pression BP du refroidisseur du type Joule-Thomson 10 est évacué, en l'occurrence dans l'atmosphère ambiante en aval de l'entrée 326, respectivement l'entrée interne 326A et l'entrée externe 326B.

[00103] La figure 9A est une représentation schématique partielle en coupe d'un deuxième mode de réalisation de la conduite de gaz de la figure 4 et une vue en coupe  
20 partielle selon un plan de coupe B-B de la conduite de gaz de la figure 9A.

[00104] Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, le refroidisseur du type Joule-Thomson 10 peut comprendre :

- 25 – une enveloppe 20 identique à celle du refroidisseur du type Joule-Thomson 10 selon l'état de la technique, tel que représenté à la figure 1, ou
- une enveloppe 20 telle que représentée sur la figure 4 et une conduite de gaz 32 telle que représentée aux figures 9A et 9B.

[00105] Selon le deuxième mode de réalisation, le tube 320 de la conduite de gaz 32 comprend uniquement un canal haute-pression 322 et des ailettes 330 longitudinales s'étendant respectivement depuis la surface externe 321 du tube 320.  
30 Les ailettes 330 sont disposées selon la longueur du tube 320.

[00106] Plus particulièrement, les ailettes 330 s'étendent chacune longitudinalement et parallèlement au centre longitudinal O de la deuxième portion semi-circulaire 321B de la surface extérieure 321 du tube 320.

[00107] Un tel agencement des ailettes 330 permet de minimiser, par rapport à un échangeur thermique équipé d'une conduite de gaz et d'ailettes selon l'état de la technique, le pas « p » du tube 320, c'est-à-dire le diamètre du tube 320, en obtenant des portions longitudinales de la surface extérieure 321 contiguës en contact les unes avec les autres.

[00108] Un tel agencement permet d'obtenir une conduite de gaz 32 plus longue par rapport à une conduite de gaz 32 selon l'état de la technique comprenant des ailettes 330 radiales.

[00109] Le fonctionnement du refroidisseur du type Joule-Thomson 10 selon le deuxième mode de réalisation est sensiblement identique au fonctionnement du refroidisseur du type Joule-Thomson 10 de l'état de la technique tel que décrit précédent, à l'exception du fait que le gaz basse-pression BP circule le long d'un espace formé entre les ailettes 330 longitudinales léchant ainsi les ailettes 330 longitudinales et la deuxième portion circonférentielle 321B de la surface externe 321 du tube 320 entre deux ailettes 330 longitudinales.

[00110] En particulier, dans le cas d'une enveloppe 20 selon la figure 4, un espace formé entre deux ailettes 330 forme un canal hélicoïdal fermé avec la paroi d'étanchéité 216 dans lequel circule le gaz basse-pression BP permettant ainsi un meilleur refroidissement du gaz circulant dans le canal haute-pression 322.

[00111] Un procédé de fabrication d'un échangeur thermique 30 selon l'invention comprend une étape de fabrication de la conduite de gaz 32 comportant au moins :

- une étape de formation, au cours de laquelle la conduite de gaz 32 est formée par extrusion d'un matériau composé de métal et de céramique, et
- une étape d'enroulement, au cours de laquelle la conduite de gaz 32 est enroulé, notamment de manière hélicoïdale, autour du corps principal 310 de l'échangeur thermique 30.

[00112] Selon une première variante du procédé de fabrication, l'étape de formation et l'étape d'enroulement de la conduite de gaz 32 sont réalisées simultanément par une buse d'extrusion mobile tournant autour du corps principal 310 de l'échangeur thermique 30.

[00113] Alternativement ou en complément, l'étape de formation et l'étape d'enroulement sont réalisées simultanément à une étape de mise en rotation du tube 320. De cette façon, il est possible d'augmenter la longueur des canaux basse-pression 324 et/ou des canal haute-pression 322 agencés en périphérie du tube 320,

maximisant ainsi le transfert thermique entre le gaz circulant dans les canaux basse-pression 324 et le gaz circulant dans le canal haute-pression 322.

[00114] Selon une deuxième variante du procédé de fabrication, l'étape d'enroulement de la conduite de gaz 32 est réalisée après l'étape de formation de la conduite de gaz 32 par la mise en forme de la conduite de gaz 32 autour du corps principal 310. En particulier, l'étape d'enroulement peut être réalisée à chaud.

[00115] L'étape de formation de la conduite de gaz 32 selon le premier mode de réalisation consiste à former le tube 320, les canaux haute-pression 322, les canaux basse-pression 324 et les parois inter-canaux 323.

[00116] L'étape de formation de la conduite de gaz 32 selon le deuxième mode de réalisation consiste à former le tube 320 et les ailettes 330.

[00117] Un échangeur thermique 30 selon l'invention permet, grâce à l'utilisation d'un matériau composé de métal et de céramique pour la fabrication de la conduite de gaz 32, respectivement la conduite de gaz interne 32A et la conduite de gaz externe 32B, de minimiser la quantité d'énergie thermique transmise entre l'entrée 326, respectivement l'entrée interne 326A et l'entrée externe 326B, et la sortie 328, respectivement la sortie interne 328A et la sortie externe 328B, de la conduite de gaz 32, respectivement la conduite de gaz interne 32A et la conduite de gaz externe 32B, tout en maintenant de bonnes capacités d'échanges thermiques de la conduite de gaz entre le gaz basse-pression BP froid et le gaz haute-pression HP.

[00118] De plus, l'utilisation d'un tel matériau permet de simplifier le procédé de fabrication en réduisant le nombre d'étapes de fabrication et ainsi de réduire le coût de fabrication de l'échangeur thermique 30 selon l'invention.

[00119] Dans la présentation détaillée de l'invention qui est faite précédemment, les termes utilisés ne doivent pas être considérés comme limitant l'invention aux modes de réalisation exposés dans la description qui vient d'être exposée, mais doivent être interprétés pour y inclure tous les équivalents dont la prévision est à la portée de l'homme de l'art en appliquant ses connaissances générales à la mise en œuvre de l'enseignement qui vient de lui être divulgué.

[00120] Bien évidemment, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits précédemment et fournis uniquement à titre d'exemple. Elle englobe diverses modifications, formes alternatives et autres variantes que pourra envisager l'homme du métier dans le cadre de la présente invention et notamment toutes combinaisons

des différents modes de fonctionnement décrits précédemment, pouvant être pris séparément ou en association.

## REVENDICATIONS

[Revendication 1] Echangeur thermique (30) de refroidisseur (10) du type Joule-Thomson comprenant un corps principal (310), et au moins une conduite de gaz (32, 32A, 32B) entourant le corps principal (310), en particulier de manière hélicoïdale ; caractérisé en ce que la conduite de gaz (32, 32A, 32B) est dans un matériau composé de céramique et de métal.

[Revendication 2] Echangeur thermique (30) selon la revendication 1, caractérisé en ce que la conduite de gaz (32, 32A, 32B) comprend un tube (320) comportant au moins un canal haute-pression (322) et au moins un canal basse-pression (324), le canal haute-pression (322) et/ou le canal basse-pression (324) s'étendant notamment selon toute la longueur du tube (320).

[Revendication 3] Echangeur thermique (30) selon la revendication 2, caractérisé en ce que le tube (320) présente un volume global de canal haute-pression (322) inférieur à un volume global de canal basse-pression (324).

[Revendication 4] Echangeur thermique (30) selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que le tube (320) présente un centre longitudinal O, en particulier de forme hélicoïdale, et en ce que :

- le canal haute-pression (322) est de centre longitudinal O, et
- le canal basse-pression (324) est réparti autour du canal haute-pression (322).

[Revendication 5] Echangeur thermique (30) selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que le tube (320) présente un centre longitudinal O, en particulier de forme hélicoïdale, et en ce que :

- le canal basse-pression (324) est de centre longitudinal O, et
- le canal haute-pression (322) est réparti autour du canal basse-pression (324).

[Revendication 6] Echangeur thermique (30) selon la revendication 1, caractérisé en ce que la conduite de gaz (32) comprend :

- un tube (320) comportant une surface externe (321), et

- des ailettes (330) s'étendant longitudinalement depuis une surface externe (321) du tube (320), notamment selon toute la longueur du tube (320).

[Revendication 7] Echangeur thermique (30) selon la revendication 6,  
5 caractérisé en ce que :

- la surface externe (321) du tube (320) comprend une première portion semi-circulaire (321A), agencée en regard du corps principal (310) de l'échangeur thermique (30), et une deuxième portion semi-circulaire (321B),
- 10 - et en ce que les ailettes (330) s'étendent depuis la deuxième portion semi-circulaire (321B).

[Revendication 8] Refroidisseur du type Joule-Thomson (10) comprenant :

- un échangeur thermique (30) selon l'une quelconque des revendications précédentes, et
- 15 - une enveloppe (20), dans laquelle est logé l'échangeur thermique (30).

[Revendication 9] Refroidisseur Joule-Thomson (10) selon la revendication 8, caractérisé en ce que l'enveloppe (20) comprend une paroi de contact (200) comportant une surface externe (202), apte à recevoir un élément à refroidir (40).

20 [Revendication 10] Refroidisseur Joule-Thomson selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'enveloppe (20) comprend une paroi d'étanchéité (216) s'étendant de la paroi de contact (200) jusqu'à l'échangeur thermique (30).

[Revendication 11] Refroidisseur Joule-Thomson selon la revendication 10, caractérisé en ce la paroi d'étanchéité (216) forme :

- 25 - une chambre de refroidissement (220) s'étendant entre la paroi de contact (200) de l'enveloppe (20) et une paroi d'extrémité (312) du corps principal (310) de l'échangeur thermique (30), et
- optionnellement, une zone sous-vide (222) s'étendant entre l'enveloppe (20) et la conduite de gaz (32, 32A, 32B).

[Revendication 12] Procédé de fabrication d'un échangeur thermique (30) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une étape de fabrication de la conduite de gaz (32, 32A, 32B) comportant au moins :

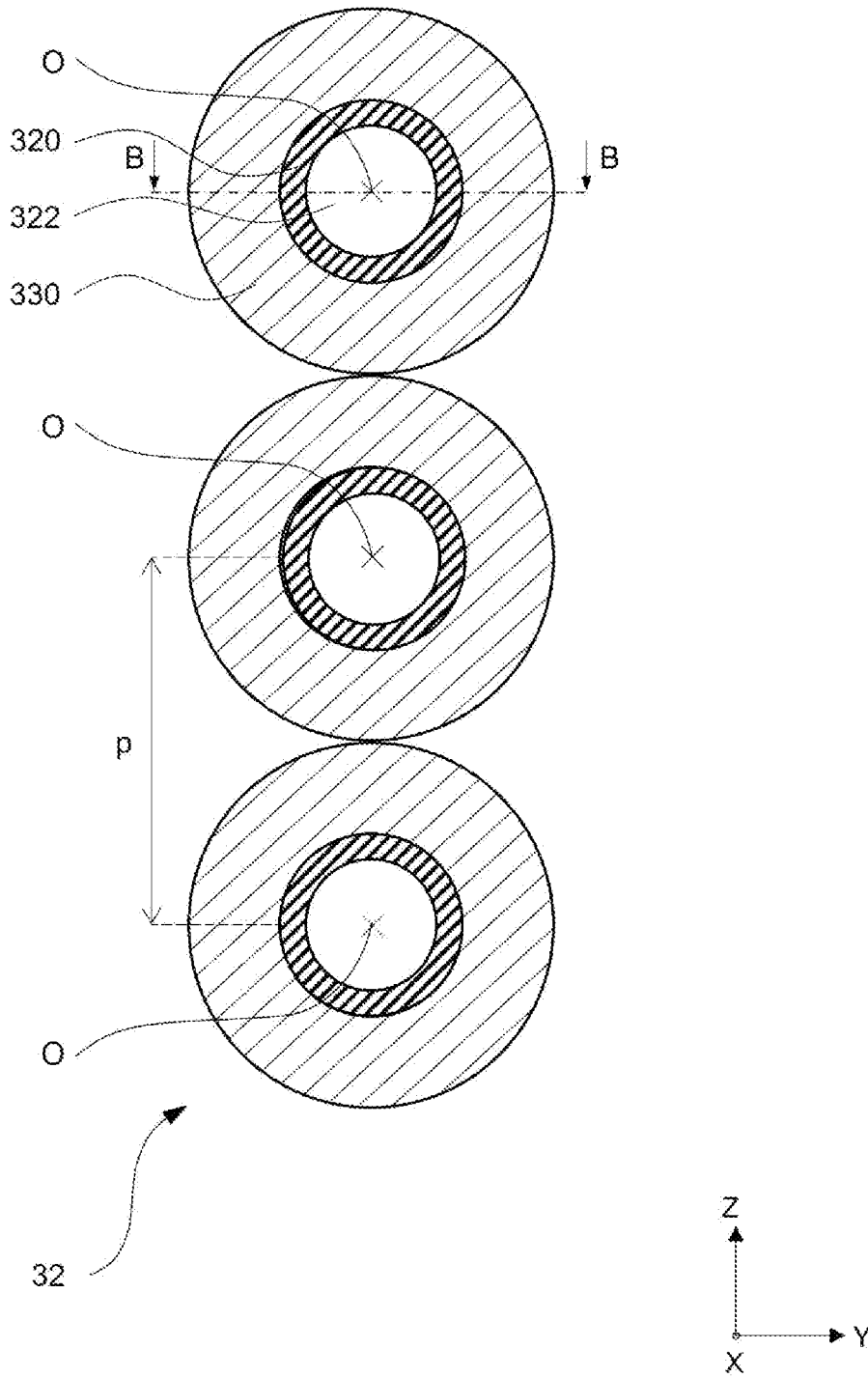
- 5           – une étape de formation, au cours de laquelle la conduite de gaz (32, 32A, 32B) est formée par extrusion, et
- une étape d'enroulement, au cours de laquelle la conduite de gaz (32) est enroulé, notamment de manière hélicoïdale.

10 [Revendication 13] Procédé de fabrication selon la revendication 12, caractérisé en ce que l'étape de formation et l'étape d'enroulement de la conduite de gaz (32) sont réalisées simultanément par une buse d'extrusion mobile tournant autour du corps principal (310) de l'échangeur thermique (30).

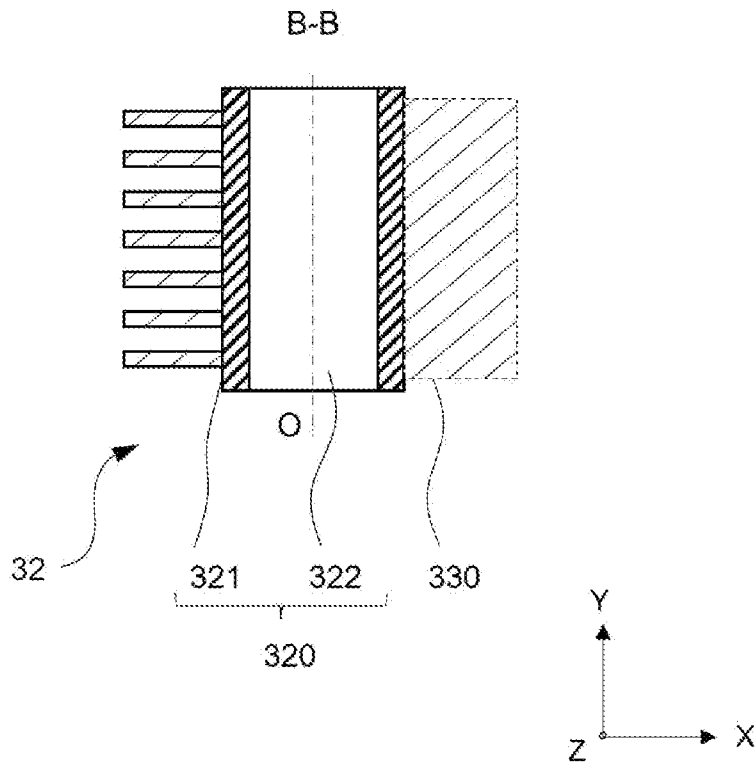
15 [Revendication 14] Procédé de fabrication selon la revendication 12 ou 13 en combinaison avec la revendication 2, caractérisé en ce que l'étape de formation et l'étape d'enroulement de la conduite de gaz (32) sont réalisées simultanément à une étape de mise en rotation du tube (320).



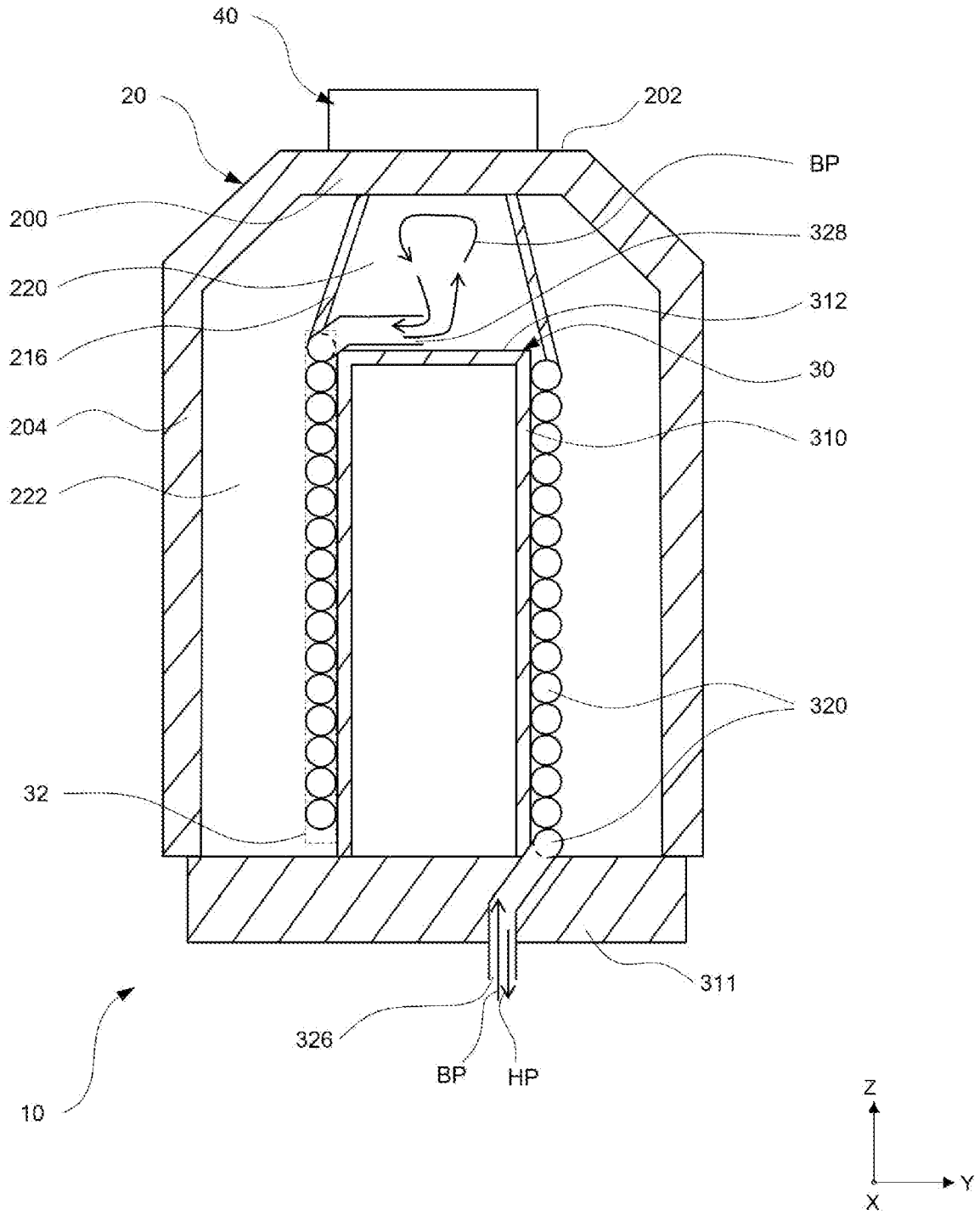
[Figure 2A]



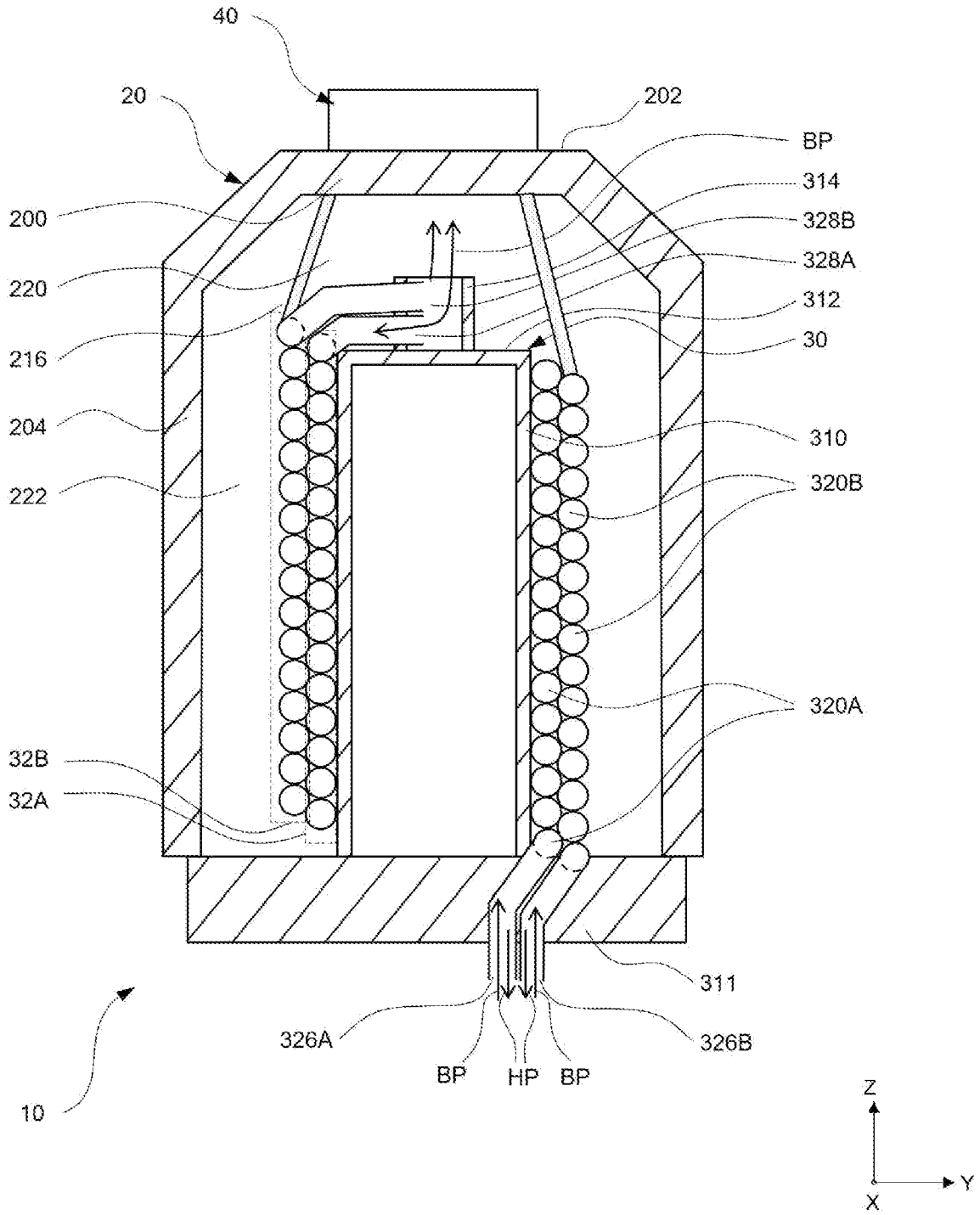
[Figure 2B]



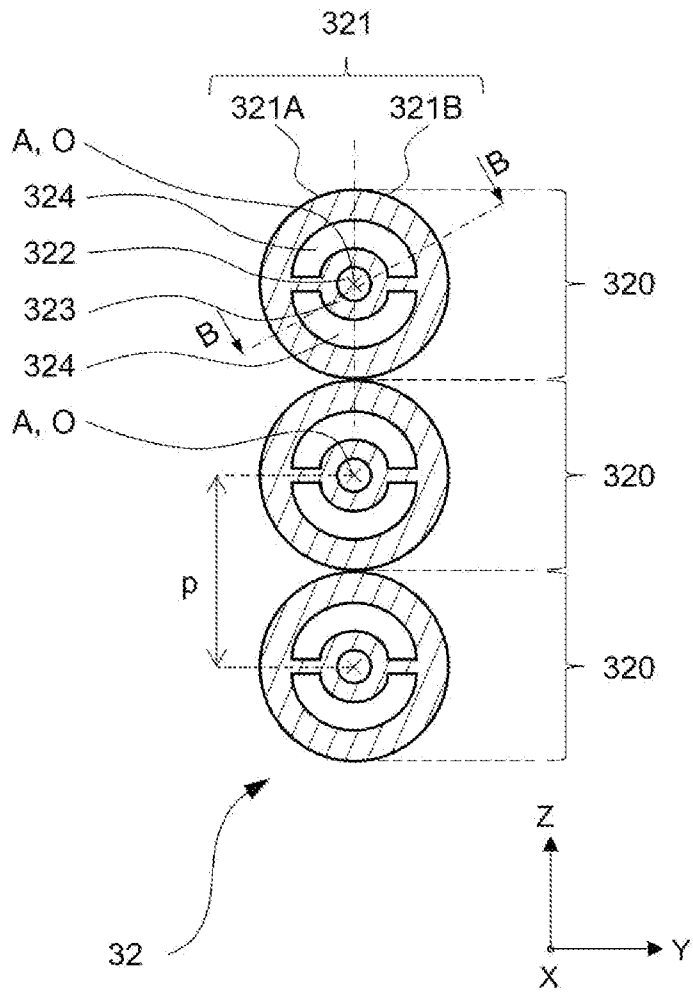
[Figure 3]



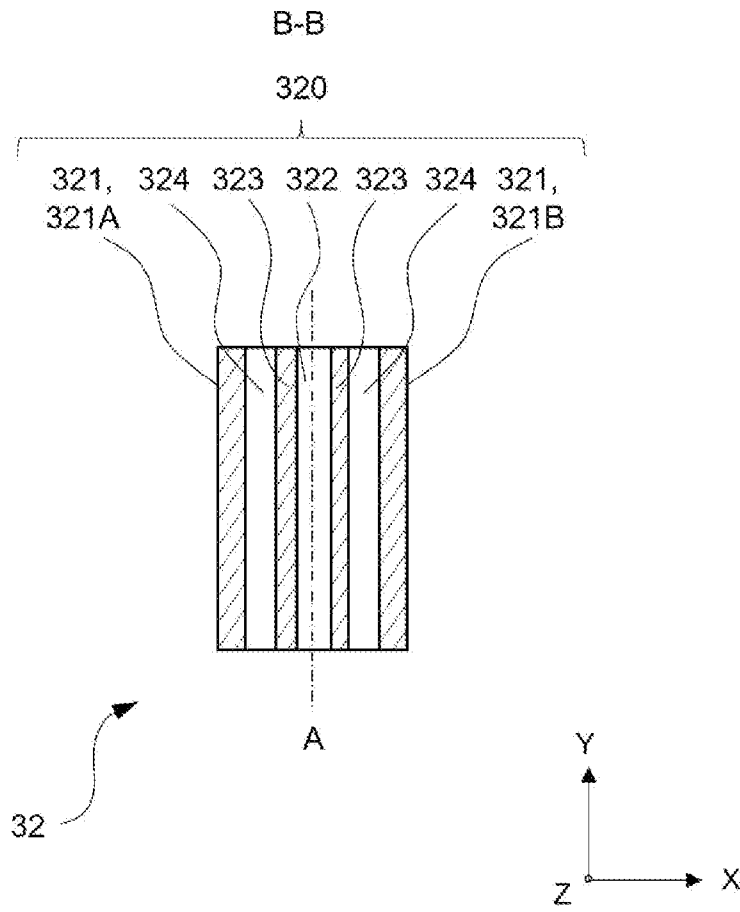
[Figure 4]



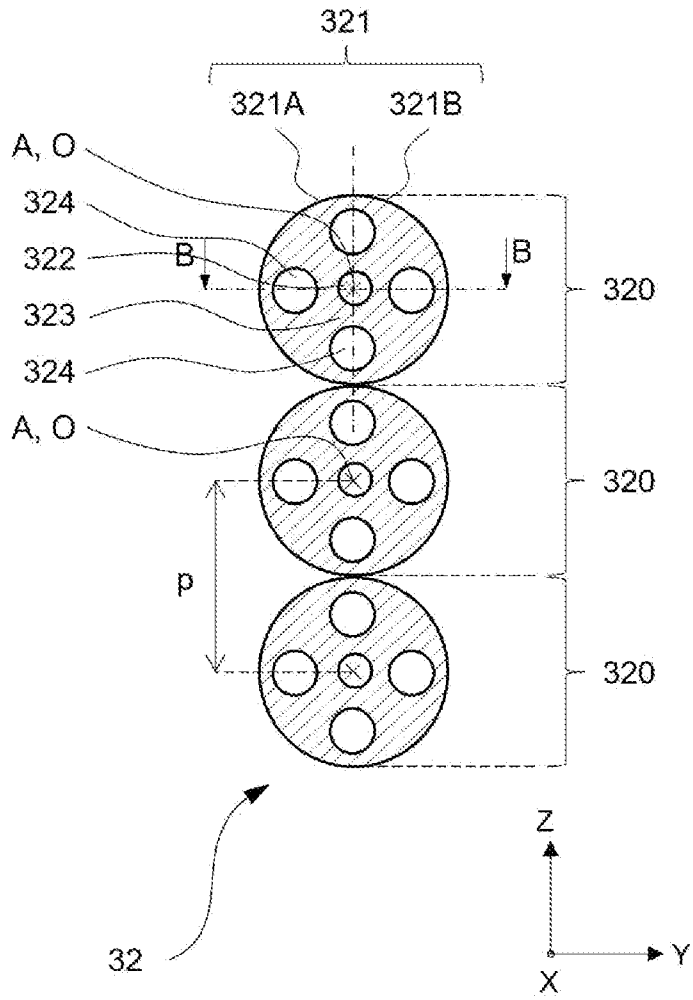
[Figure 5A]



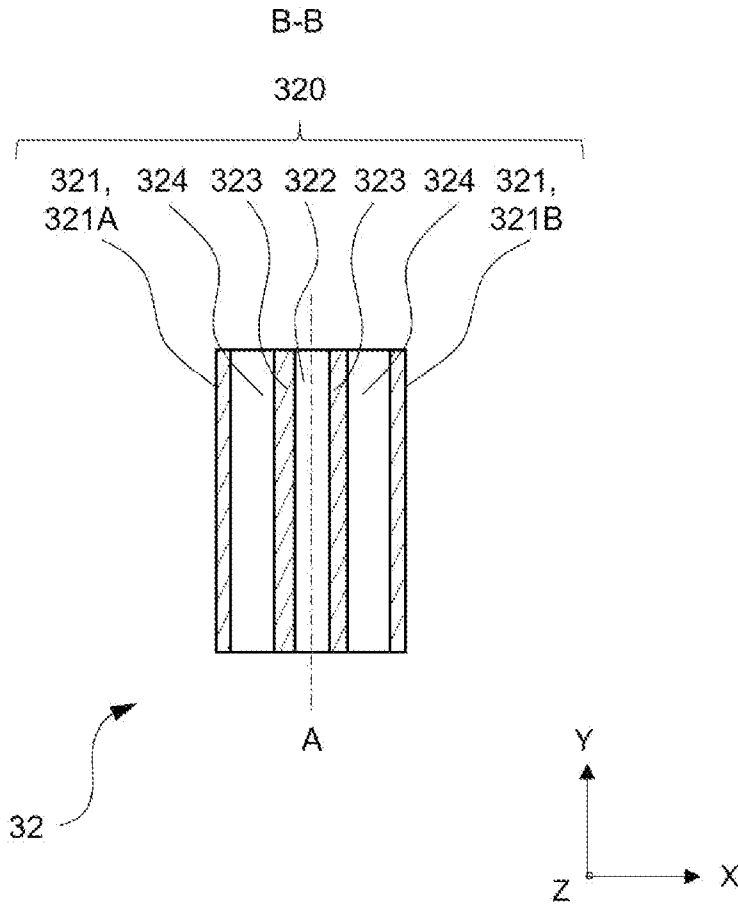
[Figure 5B]



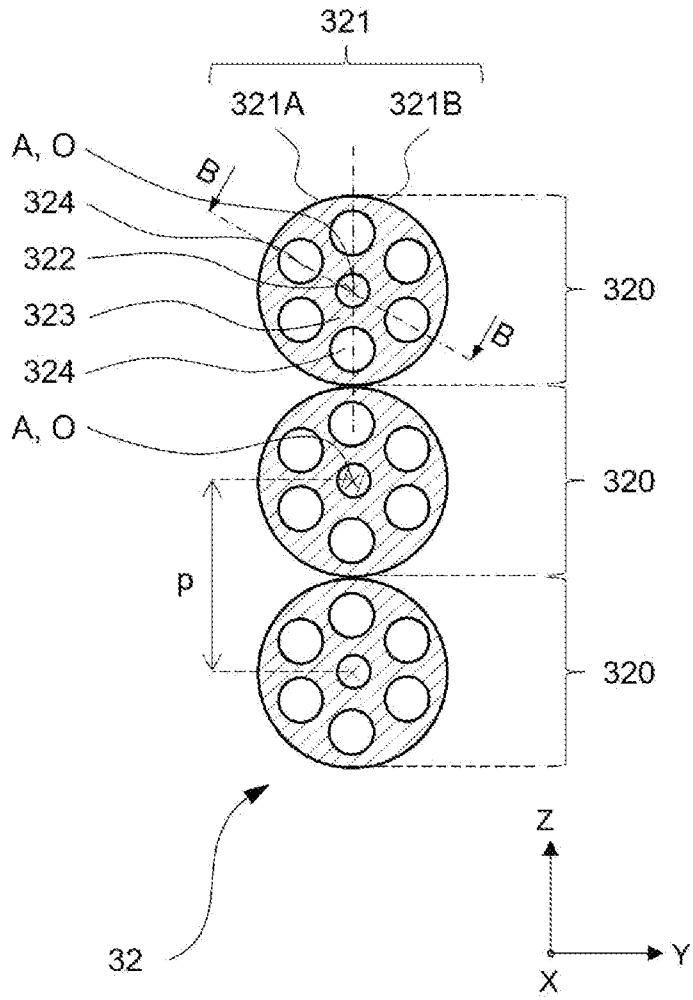
[Figure 6A]



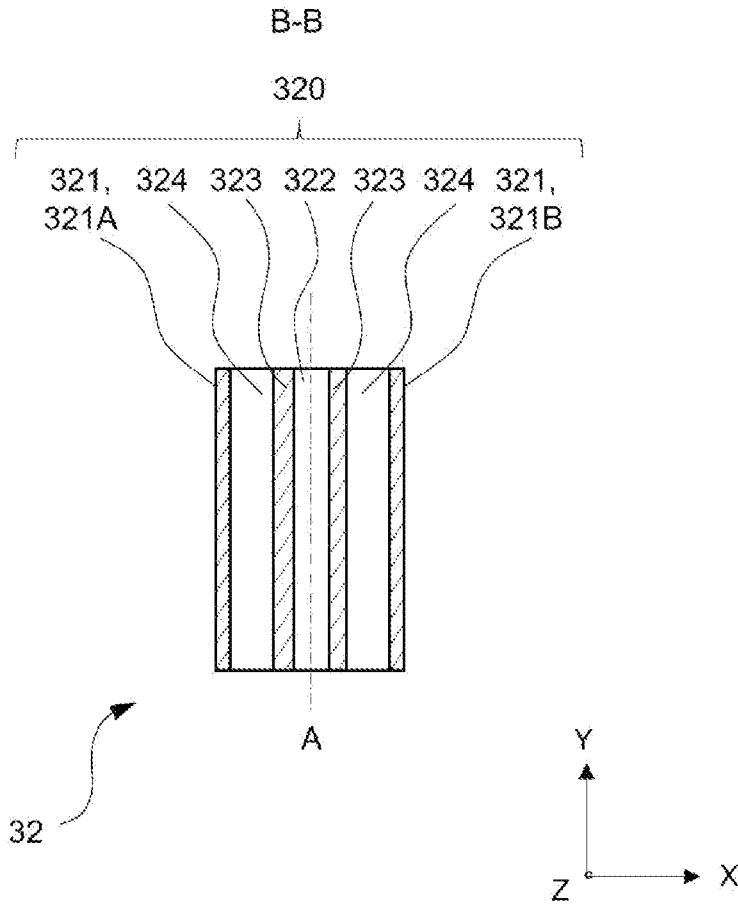
[Figure 6B]



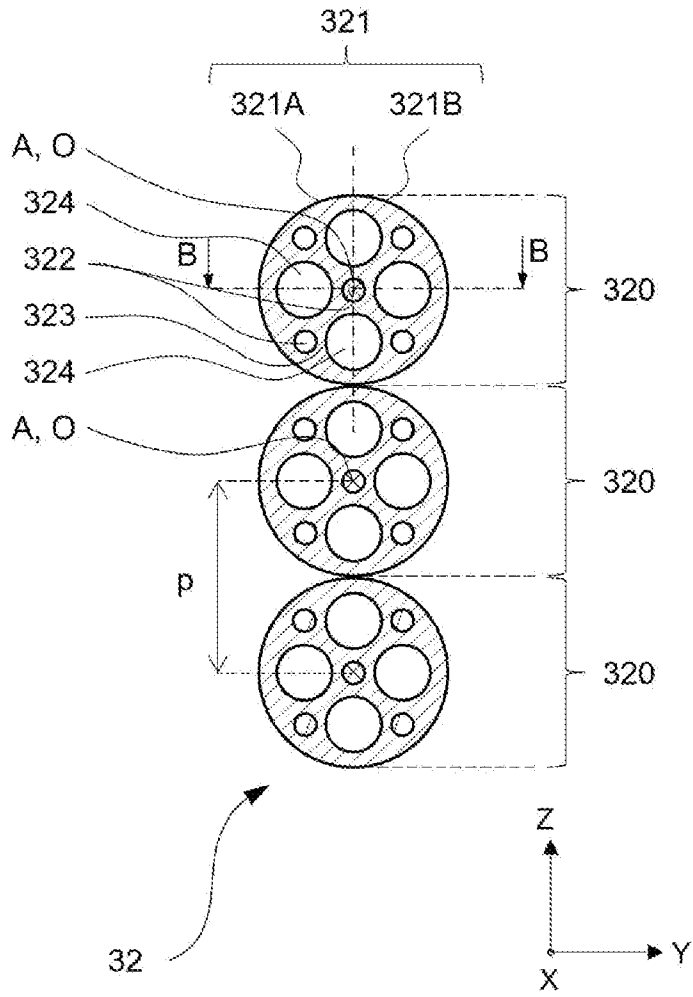
[Figure 7A]



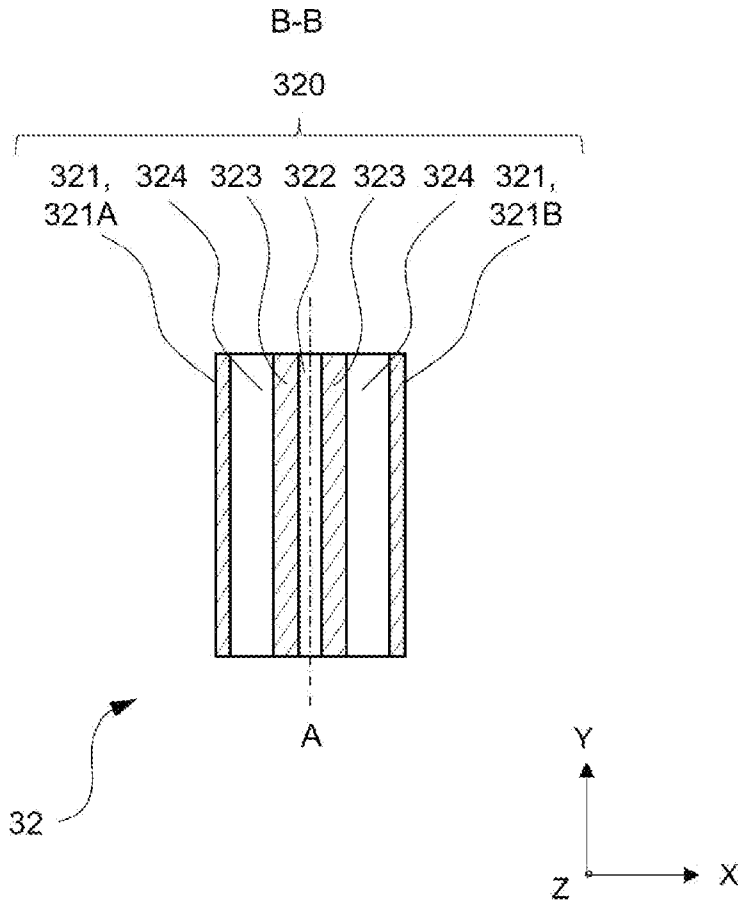
[Figure 7B]



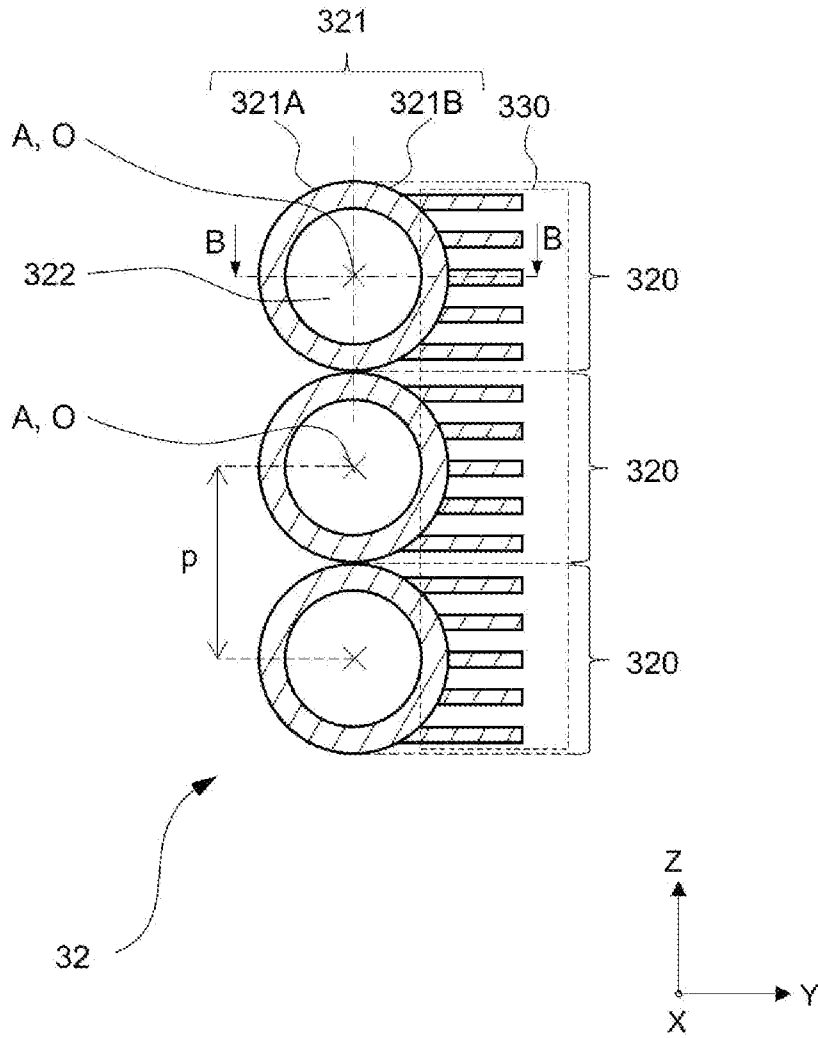
[Figure 8A]



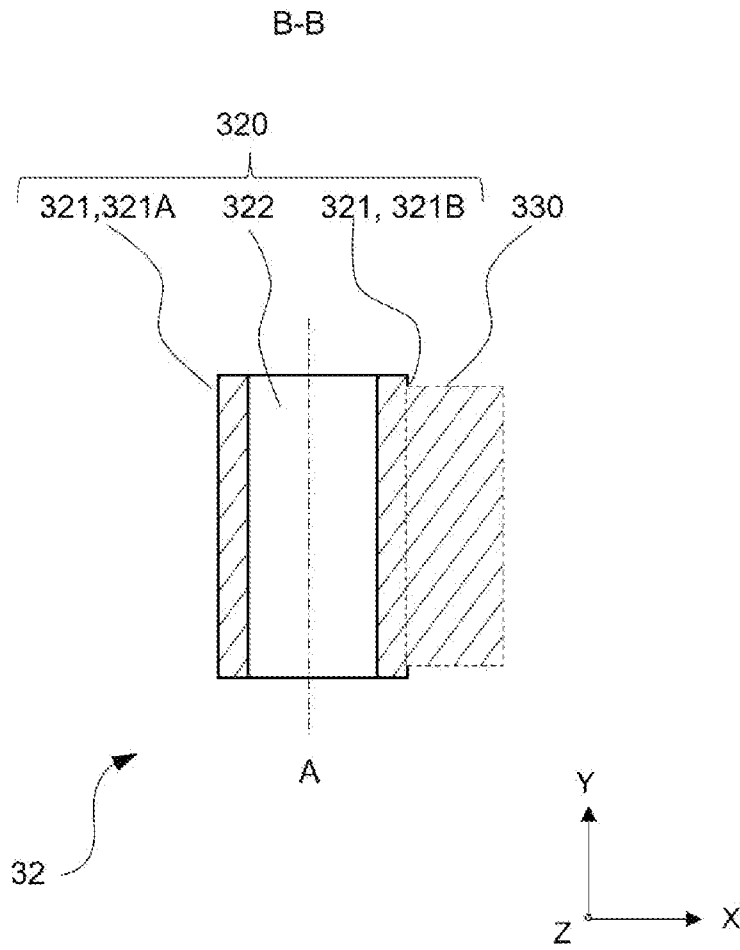
[Figure 8B]



[Figure 9A]



[Figure 9B]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/FR2024/050745**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>F25B 9/02</i> (2006.01)  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>  Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F25B; F28D; F28F  Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 114739205 A (INST HIGH ENERGY PHYSICS CAS) 12 July 2022 (2022-07-12) claim 4; figures 1,2	1-14
Y	US 2005191532 A1 (KIM JU-YONG [KR] ET AL) 01 September 2005 (2005-09-01) paragraph [0045] - paragraph [0054]; figures 3-5	1-14
A	CN 114963800 A (QINGDAO HAIER NEW ENERGY ELECTRIC APPLIANCE CO LTD ET AL.) 30 August 2022 (2022-08-30) claim 4; figures 1,2	1-5
A	US 2021148609 A1 (COTTEREAU BERTRAND [FR] ET AL) 20 May 2021 (2021-05-20) paragraph [0043] - paragraph [0051]; figures 1-2a	1-14
A	US 2014332191 A1 (JARMON DAVID C [US]) 13 November 2014 (2014-11-13) paragraph [0025] - paragraph [0028]; figure 1	1-5
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search <b>23 August 2024</b>		Date of mailing of the international search report <b>10 September 2024</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the)</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Jessen, Flemming</b>  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No. <b>PCT/FR2024/050745</b>
---

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	114739205	A	12 July 2022	NONE	
US	2005191532	A1	01 September 2005	CN 1758471 A	12 April 2006
				JP 4351643 B2	28 October 2009
				JP 2005243649 A	08 September 2005
				KR 20050087246 A	31 August 2005
				US 2005191532 A1	01 September 2005
CN	114963800	A	30 August 2022	NONE	
US	2021148609	A1	20 May 2021	CN 112334716 A	05 February 2021
				EP 3814694 A1	05 May 2021
				FR 3082921 A1	27 December 2019
				IL 279747 A	01 March 2021
				US 2021148609 A1	20 May 2021
				WO 2020002834 A1	02 January 2020
US	2014332191	A1	13 November 2014	US 2014332191 A1	13 November 2014
				US 2018142970 A1	24 May 2018

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> INV. F25B9/02 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b> Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) F25B F28D F28F		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	CN 114 739 205 A (INST HIGH ENERGY PHYSICS CAS) 12 juillet 2022 (2022-07-12) revendication 4; figures 1,2 -----	1 - 14
Y	US 2005/191532 A1 (KIM JU-YONG [KR] ET AL) 1 septembre 2005 (2005-09-01) alinéa [0045] - alinéa [0054]; figures 3-5 -----	1 - 14
A	CN 114 963 800 A (QINGDAO HAIER NEW ENERGY ELECTRIC APPLIANCE CO LTD ET AL.) 30 août 2022 (2022-08-30) revendication 4; figures 1,2 -----	1 - 5
A	US 2021/148609 A1 (COTTEREAU BERTRAND [FR] ET AL) 20 mai 2021 (2021-05-20) alinéa [0043] - alinéa [0051]; figures 1-2a ----- -/-	1 - 14
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée		"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée  <b>23 août 2024</b>		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale  <b>10/09/2024</b>
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé  <b>Jessen, Flemming</b>

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2014/332191 A1 (JARMON DAVID C [US]) 13 novembre 2014 (2014-11-13) alinéa [0025] - alinéa [0028]; figure 1 -----	1-5

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2024/050745

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CN 114739205	A	12-07-2022	AUCUN	
-----				
US 2005191532	A1	01-09-2005	CN 1758471 A	12-04-2006
			JP 4351643 B2	28-10-2009
			JP 2005243649 A	08-09-2005
			KR 20050087246 A	31-08-2005
			US 2005191532 A1	01-09-2005
-----				
CN 114963800	A	30-08-2022	AUCUN	
-----				
US 2021148609	A1	20-05-2021	CN 112334716 A	05-02-2021
			EP 3814694 A1	05-05-2021
			FR 3082921 A1	27-12-2019
			IL 279747 A	01-03-2021
			US 2021148609 A1	20-05-2021
			WO 2020002834 A1	02-01-2020
-----				
US 2014332191	A1	13-11-2014	US 2014332191 A1	13-11-2014
			US 2018142970 A1	24-05-2018
-----				