

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

①1 N° de publication : **3 130 928**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②1 N° d'enregistrement national : **21 14229**

⑤1 Int Cl⁸ : **F 17 C 3/02** (2022.01), F 17 C 7/02, H 01 M 8/04,
B 01 J 4/02, F 17 C 1/12

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 Dispositif de stockage et d'alimentation en hydrogène et ensemble correspondant.

②2 Date de dépôt : 22.12.21.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 23.06.23 Bulletin 23/25.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 05.07.24 Bulletin 24/27.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *FAURECIA SYSTEMES
D'ECHAPPEMENT Société par actions simplifiée à
associé unique — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : GREBER Frédéric et FOURCAUDOT
Yannick.

⑦3 Titulaire(s) : *FAURECIA SYSTEMES
D'ECHAPPEMENT Société par actions simplifiée à
associé unique.*

⑦4 Mandataire(s) : Lavoix.

FR 3 130 928 - B1



Description

Titre de l'invention : Dispositif de stockage et d'alimentation en hydrogène et ensemble correspondant

- [0001] L'invention concerne en général un dispositif de stockage et d'alimentation en hydrogène, plus particulièrement en vue de l'alimentation d'une pile à combustible.
- [0002] Ce dispositif de stockage et d'alimentation en hydrogène, outre la présente demande, est protégé par les demandes suivantes, déposées le même jour, par le même demandeur, et portant sur les aspects suivants :
- [0003] - une demande portant sur un dispositif de stockage et d'alimentation en hydrogène comportant un moyen pour réchauffer le fluide cryogénique sortant du réservoir intérieur, avant alimentation d'un échangeur de chaleur, ce moyen étant une alternative à celui de la présente demande ; cette demande porte la référence interne BFF21P0641 ;
- [0004] - une demande portant sur une unité de stockage d'un fluide cryogénique comportant un getter ou absorbeur de gaz dont le remplacement est facilité ; cette demande porte la référence interne BFF21P0639 ;
- [0005] - une demande portant sur une unité de stockage d'un fluide cryogénique comportant une suspension métallique du réservoir interne au réservoir externe ; cette demande porte la référence interne BFF21P0642 ;
- [0006] - une demande portant sur un ensemble comprenant une unité de stockage de fluide cryogénique et une vanne cryogénique ; cette demande porte la référence interne BFF21P0788 ;
- [0007] - une demande portant sur une unité de stockage d'un fluide cryogénique comportant au moins un réservoir additionnel pour allonger le temps de dormance ; cette demande porte la référence interne BFF21P0868.
- [0008] Les moteurs à combustion interne sont progressivement remplacés par des moteurs électriques pour la propulsion de véhicules, notamment de véhicules automobiles tels que des voitures individuelles, des véhicules utilitaires ou des camions, ou encore pour la propulsion de trains, de bateaux, etc.
- [0009] Une solution pour alimenter électriquement de tels moteurs consiste à embarquer une pile à combustible à bord du véhicule. Cette pile à combustible est alimentée par un gaz anodique qui est typiquement du dihydrogène, communément appelé hydrogène, et par un gaz cathodique qui est par exemple le dioxygène contenu dans l'air, communément appelé oxygène de l'air ou oxygène.
- [0010] L'hydrogène doit être stocké à bord du véhicule sous la forme la plus compacte possible, de manière à réduire les coûts et à optimiser l'utilisation de l'espace à bord du

véhicule.

- [0011] Une possibilité pour réduire le volume occupé par la réserve d'hydrogène est de stocker l'hydrogène à très basse température, sous forme liquide.
- [0012] L'hydrogène est liquide, à pression ambiante, à une température proche de 20 K.
- [0013] Aucun élément contenant de l'hydrogène liquide ne doit être en contact direct avec l'air ambiant, du fait que ceci provoquerait une liquéfaction de l'air. En effet, l'air se liquéfie à partir de - 196 °C, c'est-à-dire environ 77 K. L'air liquide peut contenir sous certaines conditions jusqu'à 50 % d'oxygène en masse, l'air liquide étant ainsi extrêmement oxydant. Il est donc impératif que le système d'alimentation en hydrogène de la pile à combustible à partir du dispositif de stockage d'hydrogène liquide ne présente aucune paroi en contact avec de l'air à une température inférieure à - 196 °C.
- [0014] La pile à combustible fonctionne avec de l'hydrogène gazeux, à une température supérieure à - 40 °C.
- [0015] Il existe donc un besoin pour un dispositif de stockage et d'alimentation en hydrogène, prévu pour le stockage d'hydrogène sous forme liquide et pour l'alimentation d'un organe de production d'électricité, tel qu'une pile à combustible, à partir du stockage d'hydrogène sous forme liquide, qui permette de garantir une absence de liquéfaction de l'air ambiant au contact des circuits contenant de l'hydrogène.
- [0016] A cette fin, l'invention porte sur un dispositif de stockage et d'alimentation en hydrogène, comprenant :
- [0017] - un réservoir interne, délimitant intérieurement un volume de stockage destiné à stocker de l'hydrogène liquide ;
- [0018] - un réservoir externe à l'intérieur duquel est agencé le réservoir interne, un espace intermédiaire séparant le réservoir interne du réservoir externe;
- une isolation thermique interposée entre le réservoir interne et le réservoir externe;
 - un échangeur de chaleur, comportant un côté de circulation d'hydrogène pourvu d'une entrée d'hydrogène et d'une sortie d'hydrogène et un côté de circulation d'un fluide caloporteur ;
 - un tube placé hors du réservoir externe et raccordant mécaniquement l'échangeur de chaleur au réservoir externe;
- [0019] - un conduit d'alimentation de l'échangeur de chaleur en hydrogène, comprenant un conduit externe ayant un tronçon amont raccordé fluidiquement au volume de stockage, et un tronçon aval raccordé fluidiquement à l'entrée d'hydrogène, le conduit externe s'étendant à l'intérieur du tube sans contact avec le tube.
- [0020] Le dispositif de stockage d'hydrogène liquide, comprenant un réservoir interne, un réservoir externe et une isolation thermique intermédiaire, permet une excellente isolation thermique pour l'hydrogène liquide stocké dans le volume de stockage du

réservoir interne. L'air ambiant n'est jamais en contact direct avec la paroi du réservoir interne, du fait de la présence du réservoir externe et de l'isolation thermique existant entre le réservoir interne et le réservoir externe.

- [0021] L'échangeur de chaleur permet de réchauffer l'hydrogène liquide stocké dans le réservoir interne, et de porter cet hydrogène à une température compatible avec le fonctionnement d'un organe de production d'électricité tel qu'une pile à combustible. L'hydrogène est gazeux à la sortie de l'échangeur de chaleur.
- [0022] L'hydrogène circule depuis le volume de stockage jusqu'à l'entrée de l'échangeur de chaleur dans le conduit d'alimentation. La partie de ce conduit d'alimentation situé à l'extérieur du réservoir externe est placé dans un tube. Du fait de la présence du tube il n'y a pas de contact direct possible entre l'air ambiant et le conduit externe.
- [0023] Par ailleurs, le conduit externe est chauffé par rayonnement à partir du tube. Ceci contribue à faire que les gouttelettes d'hydrogène liquide qui pourraient être entraînées hors du volume de stockage avec l'hydrogène gazeux et qui circulent dans le conduit externe, soient évaporées avant d'atteindre l'entrée de l'échangeur de chaleur.
- [0024] Le dispositif peut en outre présenter les caractéristiques ci-dessous, considérées individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles :
- [0025] - l'échangeur de chaleur comprend un organe de fixation agencé autour de l'entrée d'hydrogène, le dispositif de stockage et d'alimentation comprenant un organe de fixation complémentaire fixé à l'organe de fixation, le tube raccordant mécaniquement l'organe de fixation complémentaire au réservoir externe ;
- [0026] - le tronçon amont présente une section de passage amont pour l'hydrogène circulant dans le conduit externe, le conduit externe comprenant un tronçon intermédiaire raccordant le tronçon amont au tronçon aval, le tronçon intermédiaire présentant une section de passage intermédiaire pour l'hydrogène supérieure à la section de passage amont ;
- [0027] - le conduit externe est placé au-dessus du réservoir externe et présente un axe central formant un angle inférieur à 60° par rapport à la direction verticale ;
- [0028] - le conduit d'alimentation comprend un conduit interne, logé dans un ciel du volume de stockage et présentant des orifices débouchant dans le volume de stockage, le tronçon amont étant raccordé fluidiquement au conduit interne ;
- [0029] - le conduit interne est sensiblement horizontal et s'étend sur la plus grande partie de la longueur du réservoir interne ;
- [0030] - les orifices du conduit interne sont tournés vers le haut ;
- [0031] - le conduit d'alimentation comprend un conduit coudé raccordant le conduit interne au tronçon amont du conduit externe, le conduit coudé traversant le réservoir interne et traversant sans contact le réservoir externe ;
- [0032] - le côté de circulation d'hydrogène comprend une pluralité de tubes de circulation

d'hydrogène et un collecteur de distribution de l'hydrogène dans les tubes dans lequel débouche l'entrée d'hydrogène, le côté de circulation du fluide caloporteur comprenant une double enveloppe isolant le collecteur de distribution de l'hydrogène d'une atmosphère extérieure.

- [0033] Selon un second aspect, l'invention porte sur un ensemble comprenant :
- une pile à combustible ayant un circuit de gaz anodique pourvu d'une entrée de gaz anodique et un circuit de refroidissement de pile ayant une entrée de refroidissement et une sortie de refroidissement;
- [0034] - un dispositif de stockage et d'alimentation en hydrogène selon l'une quelconque des revendications précédentes, la sortie d'hydrogène du côté de circulation d'hydrogène de l'échangeur de chaleur étant raccordée fluidiquement à l'entrée de gaz anodique;
- un circuit de fluide caloporteur comprenant :
- [0035] * un vase d'expansion ayant une sortie de vase et une entrée de vase raccordée fluidiquement à la sortie de refroidissement,
- [0036] * un organe de circulation de fluide caloporteur ayant une aspiration raccordée fluidiquement à la sortie de vase, et un refoulement raccordé fluidiquement à une entrée de fluide caloporteur du côté de circulation de fluide caloporteur de l'échangeur de chaleur, et
- * un organe d'orientation ayant une entrée raccordée fluidiquement à une sortie de fluide caloporteur du côté de circulation de fluide caloporteur de l'échangeur de chaleur, une première sortie raccordée fluidiquement à l'entrée de vase et une seconde sortie raccordée fluidiquement à l'entrée de refroidissement du circuit de refroidissement de pile, l'organe d'orientation étant configuré pour raccorder fluidiquement l'entrée sélectivement à la première sortie ou à la seconde sortie.
- [0037] Cet ensemble peut en outre présenter la caractéristique suivante :
- [0038] l'échangeur de chaleur comprend un organe de chauffage électrique agencé pour chauffer électriquement l'hydrogène, l'ensemble comprenant un contrôleur configuré pour sélectivement :
- [0039] - activer l'organe de chauffage électrique et raccorder fluidiquement l'entrée de l'organe d'orientation à la première sortie; ou
 - [0040] - arrêter l'organe de chauffage électrique et raccorder fluidiquement l'entrée de l'organe d'orientation à la seconde sortie.
- [0041] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée qui en est donnée ci-dessous, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux figures annexées, parmi lesquelles :
- [0042] – La [Fig.1] est une représentation schématique d'un ensemble conforme à l'invention, comprenant une pile à combustible alimentée en hydrogène par

- un dispositif de stockage et d'alimentation, et un circuit de fluide caloporteur ;
 - La [Fig.2] est une vue plus précise du dispositif de stockage et d'alimentation de la [Fig.1] ;
 - La [Fig.3] est une vue agrandie d'une partie du dispositif de stockage et d'alimentation des figures 1 et 2 ;
 - La [Fig.4] est une vue en perspective du conduit d'alimentation de l'échangeur de chaleur en hydrogène des figures 1 et 2 ;
 - La [Fig.5] est une vue en coupe de l'échangeur de chaleur des figures 1 à 3 ;
 - La [Fig.6] est une vue en perspective du faisceau de tubes de l'échangeur de chaleur de la [Fig.5].
- [0043] L'ensemble 1 illustrée sur la [Fig.1] comprend une pile à combustible 3, un dispositif de stockage et d'alimentation en hydrogène 5, et un circuit de fluide caloporteur 7.
- [0044] Cet ensemble 1 est typiquement prévu pour être embarqué à bord d'un véhicule ayant un moteur à propulsion électrique, par exemple un véhicule automobile, un train, un bateau ou tout autre véhicule. Le véhicule automobile est par exemple une voiture, un véhicule utilitaire, un camion, etc.
- [0045] La pile à combustible 3 est configurée pour produire de l'électricité, et alimenter le moteur à propulsion électrique.
- [0046] La pile à combustible 3 comporte un circuit de gaz anodique 9 et un circuit de refroidissement de pile 11. La pile à combustible 3 comporte encore un circuit de gaz cathodique, non représenté.
- [0047] Le circuit de gaz anodique 9 est alimenté en hydrogène par le dispositif de stockage et d'alimentation 5.
- [0048] Le circuit de gaz cathodique est alimenté en un gaz oxydant, ce gaz oxydant étant typiquement de l'oxygène.
- [0049] La pile à combustible 3 comporte une pluralité de cellules, chacune équipées d'une anode et d'une cathode. Le circuit de gaz anodique fourni de l'hydrogène à l'anode, l'hydrogène étant décomposé à l'anode en proton H^+ . Les protons H^+ migrent à travers une barrière jusqu'à la cathode, et se combinent à la cathode avec l'oxygène circulant dans le circuit de gaz cathodique pour produire de la vapeur d'eau. Le circuit de refroidissement de pile 11 est agencé pour refroidir les cellules de la pile à combustible 3.
- [0050] Les réactions chimiques, de type oxydo-réduction, intervenant à l'anode et à la cathode créent un courant électrique.
- [0051] Comme visible sur les figures 1 et 2, le dispositif de stockage et d'alimentation en hydrogène 5 comprend un réservoir interne 13 délimitant intérieurement un volume 15 de stockage, destiné à stocker de l'hydrogène liquide. Le dispositif 5 comprend encore un réservoir externe 17, à l'intérieur duquel est agencé le réservoir interne 13, ainsi qu'un espace intermédiaire 19 séparant le réservoir interne 13 du réservoir externe 17.

- [0052] Une isolation thermique 21 est interposée entre le réservoir interne 13 et le réservoir externe 17.
- [0053] Le réservoir interne 13 est typiquement d'axe horizontal.
- [0054] Il comporte une virole cylindrique 23 et deux fonds 25 fermant les deux extrémités de la virole cylindrique 23.
- [0055] La virole cylindrique 23 présente son axe central horizontal.
- [0056] Le réservoir externe 17 est sans contact direct avec le réservoir interne 13. On entend par là que le réservoir interne 13 et le réservoir externe 17 ne sont en contact mécaniquement l'un avec l'autre que par l'intermédiaire de suspensions non représentées, ces suspensions étant agencées pour minimiser les transferts de chaleur du réservoir externe 17 vers le réservoir interne 13.
- [0057] L'isolation thermique 21 comporte une pluralité de feuilles métallique superposées les unes sur les autres, avec interposition de couches de fibre. Cette isolation thermique 21 est placée sur la surface externe du réservoir interne 13.
- [0058] Par ailleurs, l'espace intermédiaire 19 est maintenue sous un vide poussé, de manière à limiter fortement les transferts thermiques par convection depuis le réservoir externe 17 vers le réservoir interne 13.
- [0059] Le dispositif de stockage et d'alimentation 5 comprend encore un échangeur de chaleur 27, comportant un côté de circulation d'hydrogène 29 pourvu d'une entrée d'hydrogène 31 et d'une sortie d'hydrogène 33, et un côté de circulation de fluide caloporteur 35 ([Fig.3]).
- [0060] L'échangeur de chaleur 27 comporte notamment un organe de fixation 37 agencé autour de l'entrée d'hydrogène 31.
- [0061] L'organe de fixation 37 est rigidement fixé à l'entrée d'hydrogène 31, et plus précisément à la double enveloppe délimitant cette entrée, comme expliqué plus loin.
- [0062] Cet organe de fixation 37 est typiquement une bride.
- [0063] Le dispositif de stockage et d'alimentation 5 comporte encore un organe de fixation complémentaire 39 fixé à l'organe de fixation 37.
- [0064] L'organe de fixation complémentaire 39 est placé hors du réservoir externe 17.
- [0065] L'organe de fixation complémentaire 39 est typiquement une bride. L'organe de fixation 37 et l'organe de fixation complémentaire 39 sont fixés l'un à l'autre par tous moyens adaptés, par exemple par soudage ou par des organes amovibles tels que des vis.
- [0066] L'organe de fixation complémentaire 39 délimite un orifice complémentaire 41, en communication fluide avec l'entrée d'hydrogène 31. L'orifice complémentaire 41 est typiquement placé en coïncidence avec l'entrée d'hydrogène 31.
- [0067] Dans l'exemple représenté, l'organe de fixation complémentaire 39 comporte une dépression centrale 43, concave vers l'organe de fixation 37. L'orifice complémentaire

- 41 occupe le fond de la dépression 43 de l'organe de fixation complémentaire 39.
- [0068] Le dispositif de stockage et d'alimentation 5 comporte encore un tube 45 raccordant mécaniquement l'échangeur de chaleur 27 au réservoir externe 17.
- [0069] Le tube 45 sont placés hors du réservoir externe 17.
- [0070] Le tube 45 raccorde mécaniquement l'organe de fixation complémentaire 39 au réservoir externe 17.
- [0071] Une extrémité supérieure 47 du tube 45 est rigidement fixée à l'organe de fixation complémentaire 39.
- [0072] L'extrémité supérieure 47 du tube 45 est fixée de manière étanche à l'organe de fixation complémentaire 39.
- [0073] L'extrémité supérieure 47 du tube 45 est fixée sur la surface de l'organe de fixation complémentaire 39 tournée à l'opposé de l'organe de fixation 37. Elle entoure entièrement l'orifice complémentaire 41.
- [0074] La dépression 43 de l'organe de fixation complémentaire 39 est engagée à l'intérieur de l'extrémité supérieure 47 du tube 45.
- [0075] Le tube 45 présente une extrémité inférieure 49, opposée à l'extrémité supérieure 47, rigidement fixée au réservoir externe 17.
- [0076] L'extrémité inférieure 49 du tube 45 est fixée de manière étanche au réservoir extérieur 17.
- [0077] Par exemple, le réservoir extérieur 17 présente un orifice 51 délimité par un bord dressé. L'extrémité inférieure 49 du tube 45 est engagée dans l'orifice 51 du réservoir extérieur 17, le bord dressé étant plaqué contre la surface externe du tube 45 et raccordé de manière étanche à celle-ci.
- [0078] Ainsi, le volume interne du tube 45 communique avec l'espace intermédiaire 19, et est maintenu lui aussi à un niveau de vide poussé.
- [0079] Le tube 45 est typiquement un tube droit, de section constante.
- [0080] Avantageusement, le tube 45 est en acier inoxydable austénitique, tel que de type 316, 316L, 304 ou 304L, et de préférence de type 316L.
- [0081] Le dispositif de stockage et d'alimentation 5 comprend encore un conduit 53 d'alimentation de l'échangeur de chaleur 27 en hydrogène, représenté sur la [Fig.4].
- [0082] Le conduit d'alimentation 53 comprend un conduit externe 55, s'étendant à l'intérieur du tube 45, sans contact avec le tube 45.
- [0083] On entend par là qu'il n'existe pas de contact mécanique directe entre le tube 45 et le conduit externe 55.
- [0084] Le conduit externe 55 comporte un tronçon amont 57 raccordé fluidiquement au volume de stockage 15. Il comporte également un tronçon aval 59 raccordé fluidiquement à l'entrée d'hydrogène 31.
- [0085] Typiquement, le tronçon aval 59 est directement raccordé à l'orifice complémentaire

41.

- [0086] Avantageusement, le conduit externe 55 comprend encore un tronçon intermédiaire 61 raccordant le tronçon amont 57 au tronçon aval 59.
- [0087] Le tronçon intermédiaire 61 est directement raccordé au tronçon amont 57 et au tronçon aval 59.
- [0088] Le tronçon amont 57 présente une section de passage amont pour l'hydrogène circulant dans le conduit externe 55. Le tronçon intermédiaire 61 présente une section de passage intermédiaire pour l'hydrogène supérieure à la section de passage amont.
- [0089] En d'autres termes, le tronçon intermédiaire 61 constitue une partie élargie du conduit externe 55. La présence de cette partie élargie est particulièrement avantageuse quand un bouchon de liquide venant du volume de stockage 15 arrive dans le conduit externe 55. Le tronçon intermédiaire 61 permet de séparer l'hydrogène liquide de l'hydrogène gazeux. Du fait de l'augmentation de volume, l'hydrogène gazeux peut traverser la couche liquide, ce liquide restant dans le tronçon intermédiaire 61 élargie pendant un temps suffisant pour son évaporation.
- [0090] Le conduit externe 55 est sensiblement rectiligne. Il est sensiblement coaxial au tube 45.
- [0091] Dans l'exemple représenté, le tronçon aval 59 présente une section de passage pour l'hydrogène sensiblement égale à celle du tronçon amont 57.
- [0092] Le conduit externe 55 s'étend sensiblement sur toute la longueur du tube 45.
- [0093] Le conduit externe 55 est placé au-dessus du réservoir externe 17. Il présente un axe central C formant un angle inférieur à 60° par rapport à la direction verticale, de préférence inférieur à 45° , encore de préférence inférieur à 30° .
- [0094] Ainsi, les gouttelettes du liquide susceptible d'être entraînées par l'hydrogène gazeux ont tendance à ruisseler vers le volume de stockage 15. Elles s'accumulent dans la partie inférieure du tronçon intermédiaire 61, à l'opposé de l'échangeur de chaleur 27.
- [0095] Il est à noter que le tronçon amont 57 et/ou le tronçon aval 59 présente une partie pliée en accordéon 63, ce qui permet de donner de la souplesse au conduit d'alimentation 53.
- [0096] En effet, le conduit d'alimentation 53 raccorde mécaniquement le réservoir interne 13 au réservoir externe 17, via le tube 45 et l'organe de fixation complémentaire 39.
- [0097] Au cours de l'utilisation du dispositif de stockage et d'alimentation 5, il peut se produire un mouvement relatif entre le réservoir interne 13 et le réservoir externe 17, les parties en accordéon 63 donnant au conduit d'alimentation 53 la souplesse nécessaire pour que ce conduit ne casse pas.
- [0098] Comme visible sur les figures 1, 2 et 4, le conduit d'alimentation 53 comprend encore un conduit interne 65, logé dans un ciel 66 du volume de stockage 15.
- [0099] Le ciel 66 du volume de stockage 15 correspond à la zone supérieure du volume du

stockage 15, qui n'est pas occupée par le liquide, et qui ne contient donc que de l'hydrogène gazeux.

- [0100] En d'autres termes, le conduit interne 65 n'est pas noyé dans l'hydrogène liquide, mais se situe au-dessus de la surface libre du volume d'hydrogène liquide.
- [0101] Le conduit interne 65 présente des orifices 67 débouchant dans le volume de stockage 15.
- [0102] Le tronçon amont 57 est raccordé fluidiquement au conduit interne 65.
- [0103] Plus précisément, le conduit d'alimentation 53 comporte un conduit coudé 69, raccordant le conduit interne 65 au tronçon amont 57 du conduit externe 55.
- [0104] Le conduit coudé 69 est raccordé directement à une extrémité du conduit interne 65. Le conduit interne 65 est fermé à son extrémité 70 opposée au conduit coudé 69. L'extrémité 70 est écrasée et forme une queue de carpe.
- [0105] Le conduit interne 65 est typiquement rectiligne.
- [0106] Il est avantageusement sensiblement horizontal et s'étend sur la plus grande partie de la longueur du réservoir interne 13. La longueur du conduit interne 65 dépend de nombreux paramètres tels que la position des orifices 67 par rapport au sens de marche. Les orifices 67 se trouveront plutôt à l'avant du véhicule 1 car lors d'accélération ou de montées la demande en hydrogène sera plus forte et la partie liquide sera plutôt à l'arrière. Au contraire, en décélération ou descente, la demande en hydrogène est nulle ou faible. Le nombre d'orifices 67 et donc la longueur de la partie perforée du conduit interne 65 vont aussi dépendre du débit maximum de soutirage, ce débit dépendant de la puissance de la pile à combustible 3.
- [0107] Les orifices 67 sont répartis sur la longueur du conduit interne 65, typiquement régulièrement répartis.
- [0108] Avantageusement, ils sont tournés vers le haut, c'est-à-dire d'un côté opposé au volume d'hydrogène liquide.
- [0109] Le conduit coudé 69 traverse le réservoir interne 13 et traverse sans contact le réservoir externe 17. La traversée du réservoir interne 13 est réalisée de manière étanche. Le conduit coudé 69 passe à travers le réservoir externe 17 par l'orifice 51.
- [0110] Le conduit coudé 69 présente la forme générale d'un coude plié à 90°.
- [0111] Le côté de circulation d'hydrogène 29 de l'échangeur de chaleur 27 comprend une pluralité de tubes de circulation d'hydrogène 71 et un collecteur 73 de distribution de l'hydrogène dans les tubes 71.
- [0112] Il comporte également un collecteur de sortie 75, collectant l'hydrogène sortant des tubes 71.
- [0113] La sortie d'hydrogène 33 de l'échangeur de chaleur 27 débouche dans le collecteur de sortie 75.
- [0114] Chaque tube 71 présente une forme générale en U avec une première partie de tube

- 77 rectiligne débouchant dans le collecteur de distribution 73, une seconde partie de tube 79 rectiligne débouchant dans le collecteur de sortie 75, et une partie intermédiaire 81 de forme complexe raccordant l'une à l'autre les parties de tube 77 et 79.
- [0115] Les parties de tube 77, 79 de tous les tubes 71 sont parallèles à une même direction X, matérialisée sur les figures 3, 5 et 6.
- [0116] Les collecteurs de distribution et de sortie 73, 75 sont situés à une première extrémité de l'échangeur de chaleur 27 suivant la direction X. Les parties intermédiaires 81 des différents tubes 71 forment un chignon agencé à la seconde extrémité de l'échangeur de chaleur 27, la seconde extrémité étant opposée aux collecteurs de distribution et de sortie 73, 75 suivant la direction X.
- [0117] Le côté de circulation du fluide caloporteur 35 comporte un corps 83 de forme tubulaire, allongé selon la direction X. Il délimite intérieurement un volume de circulation pour le fluide caloporteur.
- [0118] Le corps 83 présente une ouverture 85 du côté des collecteurs de distribution et de sortie 73, 75. Il est fermé par un fond 87 du côté du chignon constitué par les parties intermédiaires 81 des tubes 71. L'ouverture 85 est fermée par une plaque 89, percée de trous 91. Les extrémités des parties de tube 77, 79 des tubes sont engagées et rigidement fixées chacune dans un des trous 91.
- [0119] Les extrémités des parties de tube 77 sont rassemblées dans une zone de la plaque 89 qui délimite un côté du collecteur de distribution 73.
- [0120] De manière analogue, les extrémités des parties de tube 79 sont rassemblées dans une zone de la plaque 89 qui délimite un côté du collecteur de sortie 75.
- [0121] Les tubes 71 sont entièrement logés dans le corps 83, sans contact direct entre les tubes 71 et le corps 83 ou le fond 87.
- [0122] Le côté 35 de circulation du fluide caloporteur comprend une double enveloppe 93 (figures 3 et 5), isolant le collecteur de distribution d'hydrogène 73 de l'atmosphère extérieure.
- [0123] Dans l'exemple représenté, la double enveloppe 93 délimite un volume tubulaire dont une extrémité délimite l'entrée d'hydrogène 31, et dont une autre extrémité est fermée par la plaque 89. Ce volume tubulaire constitue le collecteur de distribution 73. L'organe de fixation 37 est fixé autour de la double enveloppe 93.
- [0124] Le côté 35 de circulation du fluide caloporteur présente une entrée de fluide caloporteur 95 et une sortie de fluide caloporteur 97. L'entrée de fluide caloporteur 95 débouche directement dans une double enveloppe 93.
- [0125] La double enveloppe 93 présente une sortie de fluide caloporteur 97 qui débouche dans le volume interne du corps 83, à une extrémité de celui-ci.
- [0126] La sortie de fluide caloporteur 97 est ménagée à l'extrémité du corps 83 opposée à l'entrée de fluide caloporteur 95 suivant la direction X. Elle est par exemple ménagée

dans le fond 87.

- [0127] L'échangeur de chaleur 27 comporte encore une pluralité de plaques entretoises 99, disposées à l'intérieur du corps 83 et réparties suivant la direction X. Ces plaques entretoises 99 sont sensiblement perpendiculaires à la direction X. Elles présentent des trous, recevant les parties de tube 77, 79. Elles maintiennent ainsi en position les parties de tube 77, 79 les unes par rapport aux autres, et en position par rapport au corps 83.
- [0128] Chaque plaque entretoise 99 ne s'étend que sur une partie de la section interne du corps 83, de telle sorte que le fluide caloporteur circule en chicane à l'intérieur du corps 83, depuis la double enveloppe 93 jusqu'à la sortie de fluide caloporteur 97.
- [0129] L'échangeur de chaleur 27 comporte encore un organe de chauffage électrique 101, agencé pour chauffer électriquement l'hydrogène.
- [0130] Cet organe de chauffage électrique 101 est de tout type adapté. Typiquement, il chauffe de manière résistive.
- [0131] L'organe de chauffage électrique 101 est engagé à l'intérieur du corps 83 à travers un orifice 103 ménagé dans le fond 83. Il comporte une partie de chauffage active 105, dégageant de la chaleur. Cette partie de chauffage active 105 s'étend selon l'axe central X de l'échangeur de chaleur 27, à partir de l'orifice 103, sur la plus grande partie de la longueur du corps 83.
- [0132] L'organe de chauffage électrique 101 comporte également une partie de raccordement 107, située à l'extérieur du corps 83. La partie de chauffage active 105 est raccordée électriquement à une source de courant, qui peut être la pile à combustible 3, à travers la partie de raccordement 107.
- [0133] Les parties de tube 77, 79 sont agencées en un cercle autour de la partie de chauffage active 105. Le chignon constitué par les parties intermédiaires 81 est agencé en couronne autour de la partie de chauffage active 105.
- [0134] Le fluide caloporteur est typiquement de l'eau, comportant de préférence un antigel.
- [0135] Le circuit de fluide caloporteur 7, comme illustré sur la [Fig.1], comprend un vase d'expansion 109, ayant une sortie de vase 111 et une entrée de vase 113.
- [0136] Le circuit de refroidissement de pile 11 présente quant à lui une entrée de refroidissement 115 et une sortie de refroidissement 117. L'entrée de vase 113 est raccordée fluidiquement à la sortie de refroidissement 117.
- [0137] Le circuit de fluide caloporteur 7 comporte encore un organe de circulation de fluide caloporteur 119, ayant une aspiration 121 raccordée fluidiquement la sortie de vase 111 et un refoulement 123 raccordé fluidiquement à l'entrée de fluide caloporteur 95 du côté de circulation de fluide caloporteur 35 de l'échangeur de chaleur 27.
- [0138] L'organe de circulation de fluide caloporteur 119 est typiquement une pompe, de tout type adapté.

- [0139] Le circuit de fluide caloporteur 7 comporte encore un organe d'orientation 125 ayant une entrée 127 raccordé fluidiquement à la sortie de fluide caloporteur 97 du côté de circulation de fluide caloporteur 35 de l'échangeur de chaleur 27. L'organe d'orientation 125 comporte encore une première sortie 129 raccordée fluidiquement à l'entrée de vase 113, et une seconde sortie 131 raccordée fluidiquement à l'entrée de refroidissement 115 du circuit de refroidissement de pile 11.
- [0140] L'organe d'orientation 125 est configuré pour raccorder fluidiquement l'entrée 127 sélectivement à la première sortie 129 ou à la seconde sortie 131.
- [0141] L'organe d'orientation 125 est typiquement une vanne trois voies.
- [0142] Par ailleurs, comme illustré sur la [Fig.1], la sortie d'hydrogène 33 du côté de circulation d'hydrogène 29 de l'échangeur de chaleur 27 est raccordée fluidiquement à l'entrée de gaz anodique 133 du circuit de gaz anodique 9 de la pile à combustible 3. Ce circuit de gaz anodique 9 présente une sortie de gaz anodique non représentée.
- [0143] L'ensemble 1 comporte également un contrôleur 135. Le contrôleur 135 pilote au moins l'organe de chauffage électrique 101 et l'organe d'orientation 125, en fonction d'informations reçus du ou des calculateurs de bord du véhicule.
- [0144] Le contrôleur 135 est notamment configuré pour sélectivement :
- [0145] - Activer l'organe de chauffage électrique 101 et raccorder fluidiquement l'entrée 127 de l'organe d'orientation à la première sortie 129 ou ;
- [0146] - Arrêter l'organe de chauffage électrique 101 et raccorder fluidiquement l'entrée 127 de l'organe d'orientation 125 à la seconde sortie 131.
- [0147] Une vanne 137 est intercalée entre la sortie d'hydrogène 33 et l'entrée de gaz anodique 133.
- [0148] Le fonctionnement l'ensemble 1 va maintenant être décrit.
- [0149] En fonctionnement normal de la pile à combustible 3, l'hydrogène gazeux remplissant le ciel 66 du réservoir intérieur 13 pénètre dans le conduit interne 65 à travers les orifices 67.
- [0150] La pression d'hydrogène dans le réservoir intérieur 13 est réglée par le biais d'un organe de chauffage non représenté configuré pour chauffer l'hydrogène liquide stocké dans le réservoir intérieur 13.
- [0151] L'hydrogène gazeux s'écoule du conduit interne 65 au conduit coudé 69, puis à travers le conduit externe 55. Il est réchauffé en traversant le conduit externe 55, par rayonnement thermique à partir du tube 45. Les gouttelettes d'hydrogène liquide éventuellement entraînées avec l'hydrogène gazeux sont évaporées au cours du passage à travers le conduit externe 55.
- [0152] Si une quantité importante de liquide est entraînée dans le conduit interne 65 et constitue un bouchon se déplaçant le long du conduit externe 55, le déplacement de ce bouchon est arrêté quand il atteint le tronçon intermédiaire 61. Du fait de

l'élargissement de la section de passage à ce niveau, le gaz propulsant le bouchon de liquide peut buller à travers le liquide et s'échapper, de telle sorte que ce bouchon est bloqué au niveau du tronçon intermédiaire 61. Il est réchauffé par rayonnement thermique et se vaporise.

- [0153] L'hydrogène gazeux sort du conduit externe 55 à travers l'orifice complémentaire 41, et pénètre dans l'échangeur de chaleur 27 par l'orifice d'entrée d'hydrogène 31.
- [0154] Il pénètre directement dans le collecteur de distribution d'hydrogène 73. A partir de ce collecteur, il est distribué dans les tubes 71 de circulation d'hydrogène. Il parcourt les tubes 71 jusqu'au collecteur de sortie 75. A la sortie des tubes 71, l'hydrogène gazeux est à une température proche de 0°C (pour éviter la création d'un bloc de glace), la température possiblement et transitoirement pouvant atteindre un minimum de l'ordre de - 40° C.
- [0155] L'hydrogène, dans son parcours depuis le volume de stockage 15 jusqu'à la sortie d'hydrogène 33, n'est jamais en contact avec une surface baignée par l'air ambiant. En effet, le conduit externe 55 est isolé de l'air ambiant par le tube 45. Le collecteur de distribution d'hydrogène 73 est isolé de l'air ambiant par la double enveloppe 93. Les tubes 71 sont isolés de l'air ambiant grâce au liquide de refroidissement contenu dans le corps 83.
- [0156] Ainsi, tout risque de liquéfaction de l'air au contact de l'hydrogène est écarté.
- [0157] Le fluide caloporteur est refoulé par l'organe de circulation 119 jusqu'à l'entrée de fluide caloporteur 95. Il s'écoule dans la double enveloppe 93 puis à l'intérieur du corps 83 jusqu'à la sortie de fluide caloporteur 97. Il cède sa chaleur à l'hydrogène gazeux circulant dans les tubes 71.
- [0158] En fonctionnement normal de la pile à combustible 3, le contrôleur 135 maintient l'organe de chauffage électrique 101 inactif et pilote l'organe d'orientation 125 de manière à raccorder fluidiquement l'entrée 127 à la seconde sortie 131. Le fluide caloporteur sortant de l'échangeur de chaleur 27 circule ainsi jusqu'à l'entrée de refroidissement 115 du circuit de refroidissement de pile 11.
- [0159] Le fluide caloporteur circule ensuite à l'intérieur de la pile à combustible 3 jusqu'à la sortie de refroidissement 117. Il est réchauffé par la chaleur générée par la pile à combustible 3.
- [0160] A partir de la sortie de refroidissement 117, il circule jusqu'à l'entrée 113 du vase d'expansion 109, puis à partir la sortie 111 du vase d'expansion 109 jusqu'à l'aspiration 121 de l'organe de circulation de fluide caloporteur 119.
- [0161] Au démarrage du véhicule, plus précisément au démarrage de la pile à combustible 3, cette pile à combustible 3 ne peut pas fournir, au circuit de fluide caloporteur 7, une quantité de chaleur suffisante pour réchauffer l'hydrogène.
- [0162] Dans ce cas, le contrôleur 135 active l'organe de chauffage électrique 101, et

contrôle l'organe d'orientation 125 de manière à raccorder fluidiquement l'entrée 127 à la première sortie 129. Le fluide caloporteur sortant de l'échangeur de chaleur 27 par la sortie de fluide caloporteur 97 est orienté directement par un organe d'orientation 125 jusqu'à l'entrée de vase 113, sans passer à travers la pile à combustible 3.

- [0163] Il circule ensuite directement à partir de la sortie de vase 111 jusqu'à l'aspiration de l'organe de circulation 119 puis à l'entrée de fluide caloporteur 95.
- [0164] L'hydrogène circulant à l'intérieur de l'échangeur de chaleur 27 est réchauffé par la chaleur cédée par l'organe de chauffage électrique 101.
- [0165] Le contrôleur 135 commande le retour à la marche normal décrite plus haut par exemple après une certaine durée de fonctionnement de la pile à combustible 3, ou quand la pile à combustible 3 a atteint une température suffisante, ou sur la base de tout autre critère adapté.
- [0166] Le dispositif de stockage et d'alimentation en hydrogène 5 et l'ensemble 1 décrit ci-dessus présente de multiples avantages.
- [0167] Comme indiqué plus haut, l'hydrogène très froid provenant du volume de stockage n'est jamais en contact avec une paroi baignée par l'air ambiant, de telle sorte que les risques de liquéfaction de l'air ambiant sont éliminés.
- [0168] L'existence d'un tronçon intermédiaire élargi dans le conduit externe contribue à éviter le primage, c'est-à-dire contribue à éviter l'arrivée d'hydrogène liquide à l'entrée de l'échangeur. Cet échangeur fonctionne uniquement en phase gazeuse, ce qui simplifie considérablement la conception de l'échangeur et son fonctionnement. Quelques petites gouttelettes d'hydrogène peuvent s'y introduire mais cet échangeur n'est pas un évaporateur, c'est-à-dire qu'il n'est pas dimensionné pour évaporer 100 % un flux constitué d'hydrogène liquide.
- [0169] Le tronçon intermédiaire élargi permet d'éviter le fonctionnement en caloduc. L'effet caloduc est un échange rapide entre une phase liquide et une phase gazeuse d'un même produit, le gaz transitant par l'intérieur du tube, la phase liquide étant accrochée à la paroi. La verticalité du tronçon intermédiaire contribue à rendre l'effet caloduc peu possible. Le fait d'avoir un élargissement de section brutal et important section va avoir un impact négatif sur le transit de la phase liquide sur la paroi et sur l'écoulement du gaz au centre.
- [0170] Par ailleurs, le conduit d'alimentation de l'échangeur de chaleur en hydrogène, et l'échangeur de chaleur lui-même, contiennent un volume connu d'hydrogène gazeux, qui peut être considéré comme un volume tampon. Lors d'un arrêt de la pile à combustible, il n'y a plus de consommation d'hydrogène. Il est nécessaire alors de s'assurer que, pendant cet arrêt, il n'y a pas d'échange entre l'hydrogène gazeux et l'hydrogène liquide, qui pourrait congeler l'échangeur et liquéfier l'air ambiant. L'existence du conduit externe en vis-à-vis du tube permet d'éviter un tel effet. Le

volume tampon est un séparateur qui va éviter le fait qu'un segment de liquide ne soit poussé par du gaz. Il est ainsi possible d'éviter d'implanter en amont de l'échangeur de chaleur une vanne cryogénique, extrêmement coûteuse à fabriquer. La vanne 137 isolant la sortie d'hydrogène de l'échangeur de chaleur de l'entrée de gaz anodique est implantée après l'échangeur de chaleur, dans la zone de température normal. Elle est donc beaucoup moins coûteuse qu'une vanne cryogénique. C'est bien l'ensemble du tronçon et particulièrement le fait qu'il soit totalement ou tout au moins partiellement vertical qui permet de créer ce tampon stable. L'hydrogène liquide, du fait de la gravité, restera dans la partie basse, la partie gazeuse se concentrant dans la partie haute. Le tronçon sera complètement gazeux du fait des transferts thermiques important entre le conduit externe et le tube. Le gaz sera thermiquement stratifié, la partie la plus chaude en partie haute ; le gaz étant très isolant.

- [0171] Le fait que le conduit externe soit placé au-dessus du réservoir externe, dans une orientation sensiblement verticale, contribue à limiter l'arrivée d'hydrogène liquide à l'entrée de l'échangeur de chaleur.
- [0172] Le fait que le conduit interne soit logé dans le ciel du volume de stockage contribue à limiter le risque que du liquide soit entraîné vers l'échangeur de chaleur.
- [0173] Le fait que le conduit interne soit sensiblement horizontal et s'étende sur la plus grande partie de la longueur du réservoir interne, permet également d'éviter la formation de bouchon de liquide à l'intérieur du conduit d'alimentation, notamment lors de mouvements du liquide à l'intérieur du volume de stockage dus à des freinages ou des accélérations.

Revendications

- [Revendication 1] Dispositif de stockage et d'alimentation en hydrogène, le dispositif (5) comprenant :
- un réservoir interne (13), délimitant intérieurement un volume de stockage (15) destiné à stocker de l'hydrogène liquide ;
 - un réservoir externe (17) à l'intérieur duquel est agencé le réservoir interne (13), un espace intermédiaire (19) séparant le réservoir interne (13) du réservoir externe (17) ;
 - une isolation thermique (21) interposée entre le réservoir interne (13) et le réservoir externe (17) ;
 - un échangeur de chaleur (27), comportant un côté (29) de circulation d'hydrogène pourvu d'une entrée d'hydrogène (31) et d'une sortie d'hydrogène (33) et un côté de circulation d'un fluide caloporteur (35) ;
 - un tube (45) placé hors du réservoir externe (17) et raccordant mécaniquement l'échangeur de chaleur (27) au réservoir externe (17) ;
 - un conduit (53) d'alimentation de l'échangeur de chaleur (27) en hydrogène, comprenant un conduit externe (55) ayant un tronçon amont (57) raccordé fluidiquement au volume de stockage (15), et un tronçon aval (59) raccordé fluidiquement à l'entrée d'hydrogène (31), le conduit externe (55) s'étendant à l'intérieur du tube (45) sans contact avec le tube (45).
- [Revendication 2] Dispositif de stockage et d'alimentation selon la revendication 1, dans lequel l'échangeur de chaleur (27) comprend un organe de fixation (37) agencé autour de l'entrée d'hydrogène (31), le dispositif de stockage et d'alimentation (5) comprenant un organe de fixation complémentaire (39) fixé à l'organe de fixation (37), le tube (45) raccordant mécaniquement l'organe de fixation complémentaire (39) au réservoir externe (17).
- [Revendication 3] Dispositif de stockage et d'alimentation selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le tronçon amont (57) présente une section de passage amont pour l'hydrogène circulant dans le conduit externe (55), le conduit externe (55) comprenant un tronçon intermédiaire (61) raccordant le tronçon amont (57) au tronçon aval (59), le tronçon intermédiaire (61) présentant une section de passage intermédiaire pour l'hydrogène supérieure à la section de passage amont.
- [Revendication 4] Dispositif de stockage et d'alimentation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le conduit externe (55) est placé

- au-dessus du réservoir externe (17) et présente un axe central (C) formant un angle inférieur à 60° par rapport à la direction verticale.
- [Revendication 5] Dispositif de stockage et d'alimentation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le conduit d'alimentation (53) comprend un conduit interne (65), logé dans un ciel (66) du volume de stockage (15) et présentant des orifices (67) débouchant dans le volume de stockage (15), le tronçon amont (57) étant raccordé fluidiquement au conduit interne (65).
- [Revendication 6] Dispositif de stockage et d'alimentation selon la revendication 5, dans lequel le conduit interne (65) est sensiblement horizontal et s'étend sur la plus grande partie de la longueur du réservoir interne (13).
- [Revendication 7] Dispositif de stockage et d'alimentation selon la revendication 5 ou 6, dans lequel les orifices (67) du conduit interne (65) sont tournés vers le haut.
- [Revendication 8] Dispositif de stockage et d'alimentation selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, dans lequel le conduit d'alimentation (53) comprend un conduit coudé (69) raccordant le conduit interne (65) au tronçon amont (57) du conduit externe (55), le conduit coudé (69) traversant le réservoir interne (13) et traversant sans contact le réservoir externe (17).
- [Revendication 9] Dispositif de stockage et d'alimentation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le côté de circulation d'hydrogène (29) comprend une pluralité de tubes (71) de circulation d'hydrogène et un collecteur (73) de distribution de l'hydrogène dans les tubes (71) dans lequel débouche l'entrée d'hydrogène (31), le côté de circulation du fluide caloporteur (35) comprenant une double enveloppe (93) isolant le collecteur de distribution de l'hydrogène (73) d'une atmosphère extérieure.
- [Revendication 10] Ensemble comprenant :
- une pile à combustible (3) ayant un circuit de gaz anodique (9) pourvu d'une entrée de gaz anodique (133) et un circuit de refroidissement de pile (11) ayant une entrée de refroidissement (115) et une sortie de refroidissement (117) ;
 - un dispositif de stockage et d'alimentation en hydrogène (5) selon l'une quelconque des revendications précédentes, la sortie d'hydrogène (33) du côté de circulation d'hydrogène (29) de l'échangeur de chaleur (27) étant raccordée fluidiquement à l'entrée de gaz anodique (133) ;
 - un circuit de fluide caloporteur (7) comprenant :
 - * un vase d'expansion (109) ayant une sortie de vase (111) et une entrée

de vase (113) raccordée fluidiquement à la sortie de refroidissement (117),

* un organe de circulation de fluide caloporteur (119) ayant une aspiration (121) raccordée fluidiquement à la sortie de vase (111), et un refoulement (123) raccordé fluidiquement à une entrée de fluide caloporteur (95) du côté de circulation de fluide caloporteur (35) de l'échangeur de chaleur (27), et

* un organe d'orientation (125) ayant une entrée (127) raccordée fluidiquement à une sortie de fluide caloporteur (97) du côté de circulation de fluide caloporteur (35) de l'échangeur de chaleur (27), une première sortie (129) raccordée fluidiquement à l'entrée de vase (113) et une seconde sortie (131) raccordée fluidiquement à l'entrée de refroidissement (115) du circuit de refroidissement de pile (11), l'organe d'orientation (125) étant configuré pour raccorder fluidiquement l'entrée (127) sélectivement à la première sortie (129) ou à la seconde sortie (131).

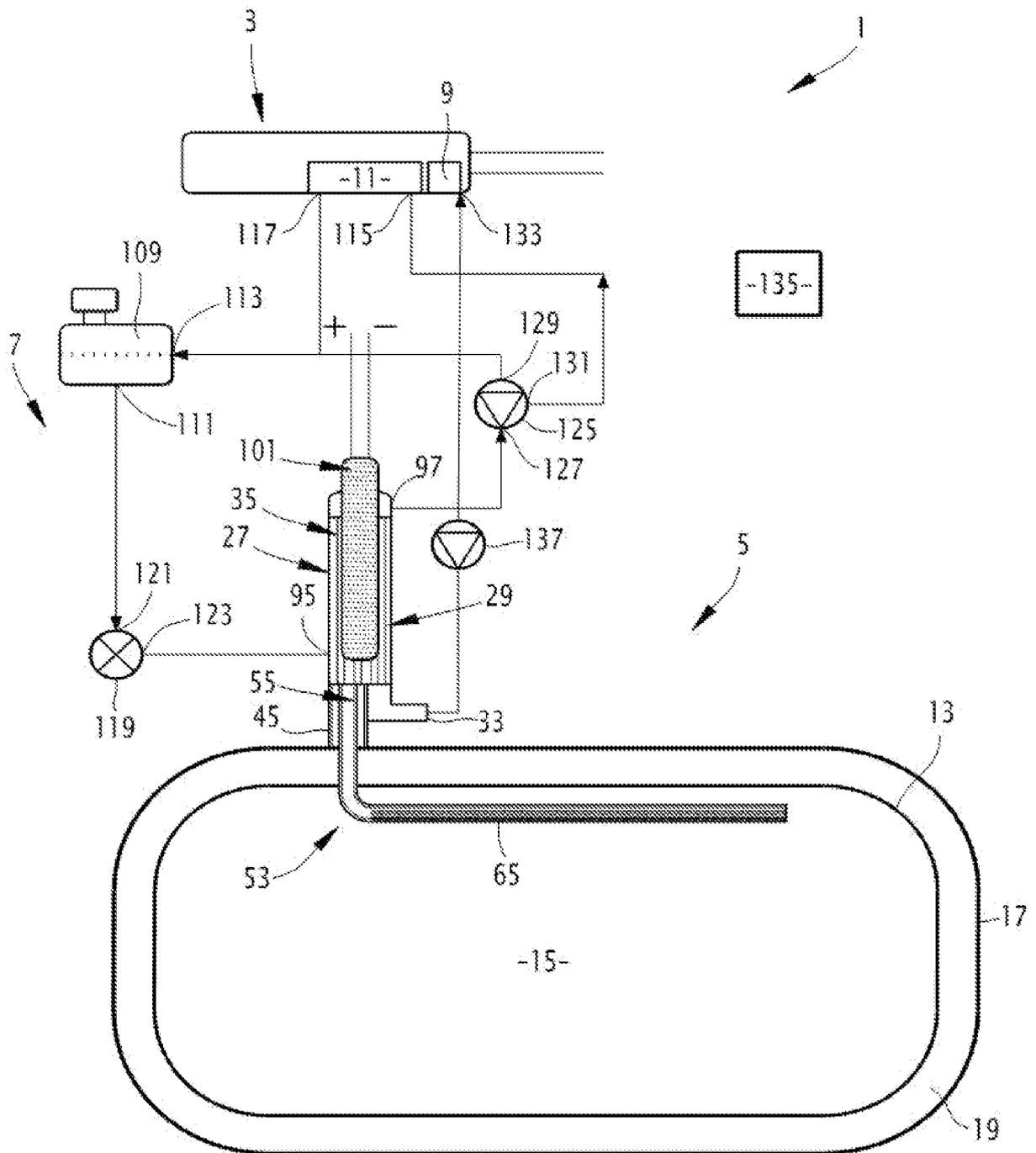
[Revendication 11]

Ensemble selon la revendication 10, dans lequel l'échangeur de chaleur (27) comprend un organe de chauffage électrique (101) agencé pour chauffer électriquement l'hydrogène, l'ensemble (1) comprenant un contrôleur (135) configuré pour sélectivement :

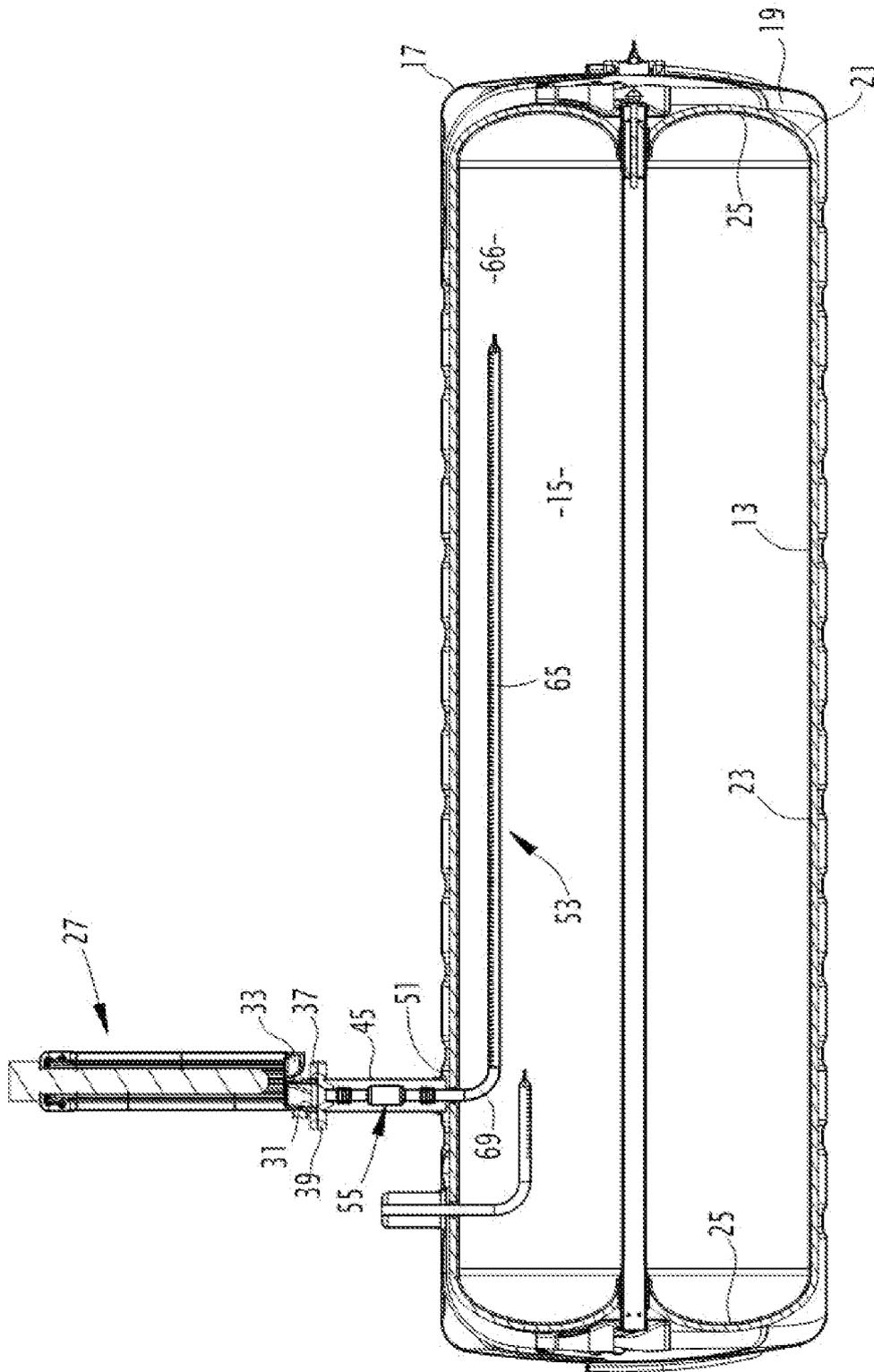
- activer l'organe de chauffage électrique (101) et raccorder fluidiquement l'entrée (127) de l'organe d'orientation (125) à la première sortie (129) ; ou

- arrêter l'organe de chauffage électrique (101) et raccorder fluidiquement l'entrée (127) de l'organe d'orientation (125) à la seconde sortie (131).

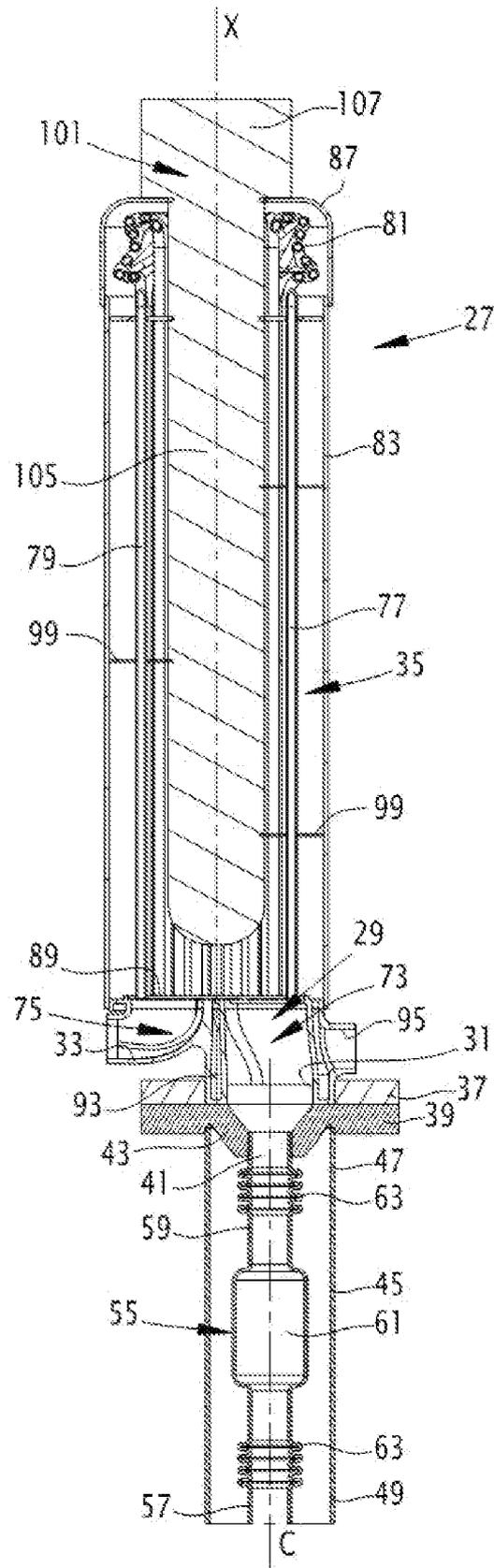
[Fig. 1]



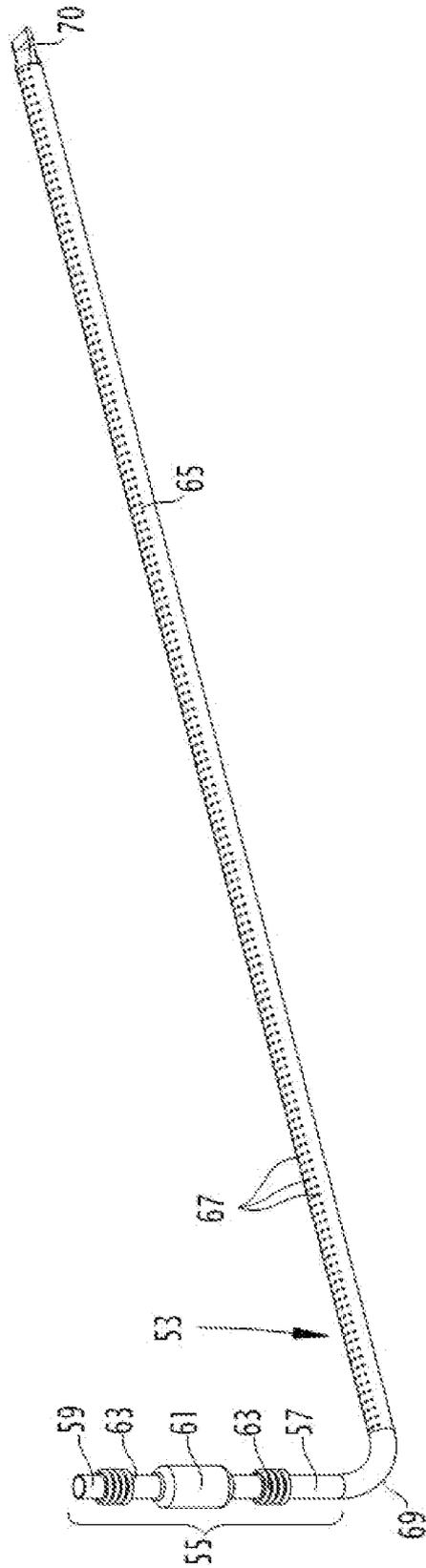
[Fig. 2]



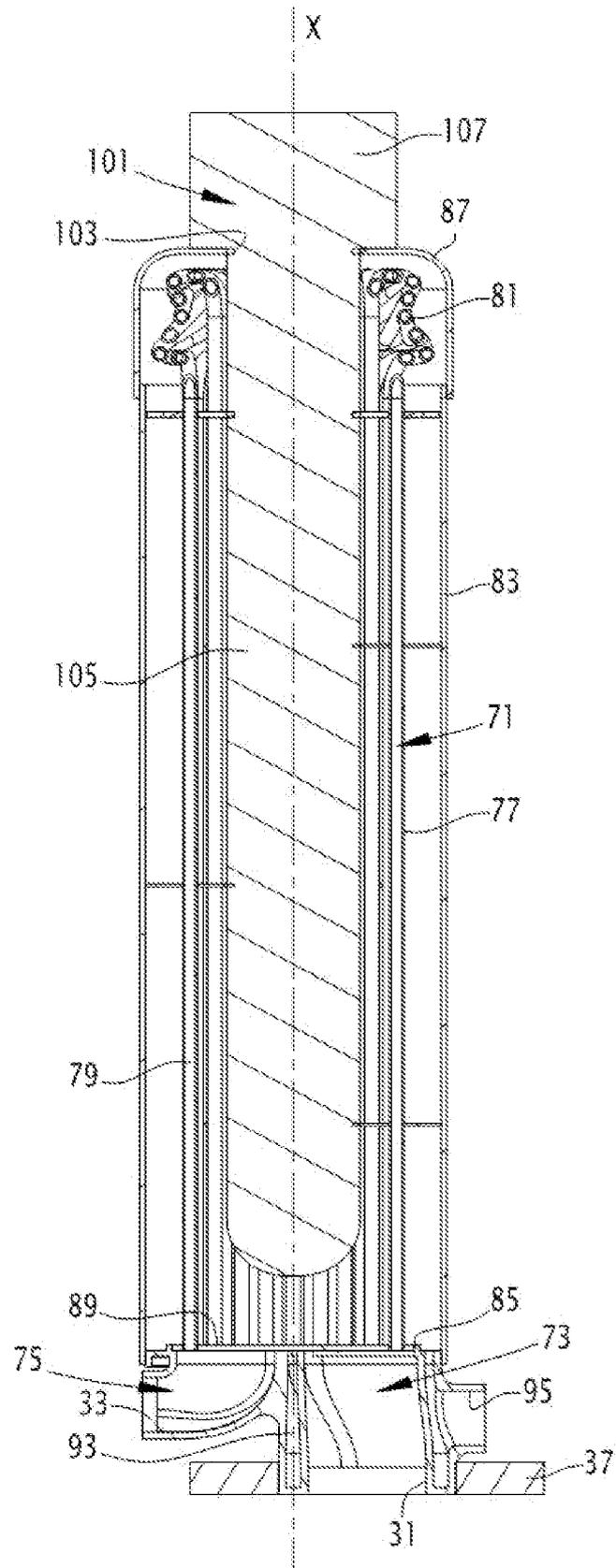
[Fig. 3]



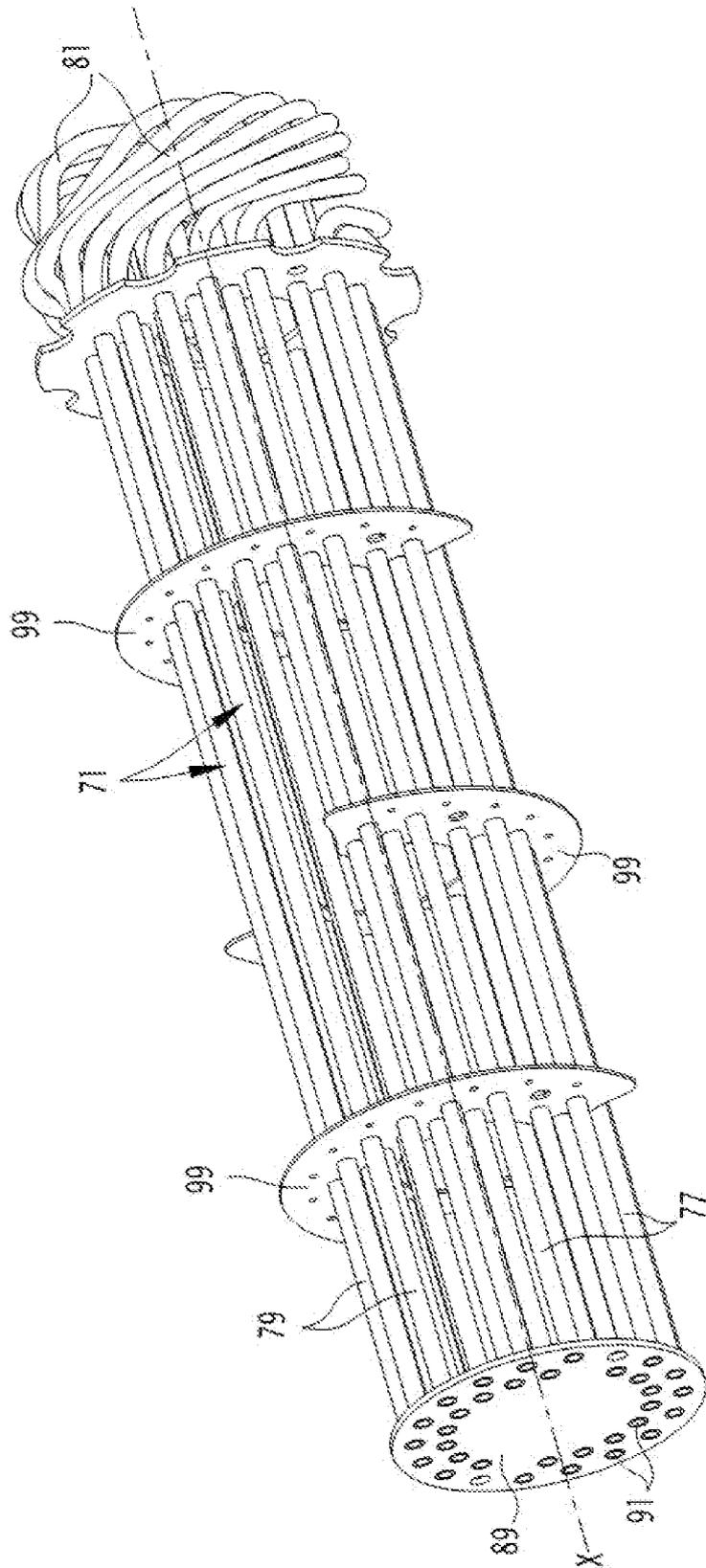
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

US 2010/236259 A1 (BRUNNER TOBIAS [DE] ET AL) 23 septembre 2010 (2010-09-23)

US 9 702 506 B2 (WAERTSILAE FINLAND OY [FI]; WAERTSILAE FINLAND OY [FI]) 11 juillet 2017 (2017-07-11)

EP 3 121 505 A1 (SALZBURGER ALUMINIUM AG [AT]) 25 janvier 2017 (2017-01-25)

EP 3 433 530 A1 (GAZTRANSPORT ET TECHNIGAZ [FR]) 30 janvier 2019 (2019-01-30)

WO 2013/190254 A2 (LINDE AG [DE]; JARRETT PAUL [GB]) 27 décembre 2013 (2013-12-27)

US 3 350 229 A (EDUARD JUSTI) 31 octobre 1967 (1967-10-31)

US 2020/309324 A1 (LAW BARNABY [DE]) 1 octobre 2020 (2020-10-01)

US 9 640 808 B2 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 2 mai 2017 (2017-05-02)

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

NEANT

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

NEANT