

(19)



(11)

EP 4 567 358 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
11.06.2025 Bulletin 2025/24

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
F25J 1/00^(2006.01) F25J 1/02^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **24211810.7**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
**F25J 1/001; F25J 1/0035; F25J 1/0045;
F25J 1/0052; F25J 1/0067; F25J 1/0072;
F25J 1/0205; F25J 1/0208; F25J 1/0219;
F25J 1/0245; F25J 1/025; F25J 1/0271;
F25J 1/0294; F25J 2205/60; F25J 2205/86;**

(22) Date de dépôt: **08.11.2024**

(Cont.)

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
GE KH MA MD TN

(30) Priorité: **05.12.2023 FR 2313560**

(71) Demandeur: **L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME
POUR L'ETUDE ET
L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES
CLAUDE
75007 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:
• **PONTISSO, Hugo
94503 Champigny-sur-Marne (FR)**
• **GAERTNER, Axelle
94503 Champigny-sur-Marne (FR)**
• **DUBETTIER, Richard
94503 Champigny-sur-Marne (FR)**

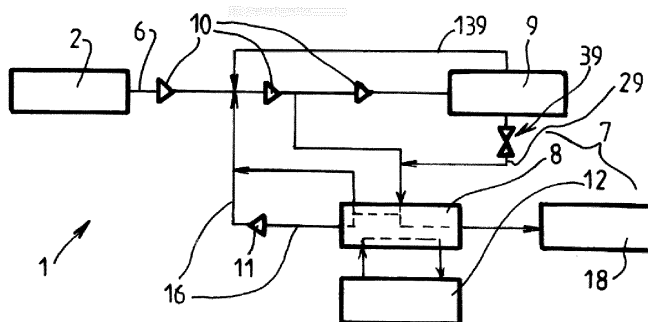
(74) Mandataire: **Air Liquide
L'Air Liquide S.A.
Direction de la Propriété Intellectuelle
75, Quai d'Orsay
75321 Paris Cedex 07 (FR)**

(54) INSTALLATION ET PROCÉDÉ DE PRODUCTION D'HYDROGÈNE LIQUÉFIÉ

(57) L'invention concerne une installation de production d'hydrogène liquéfié comprenant un générateur (2) d'hydrogène gazeux configuré pour produire de l'hydrogène gazeux, un liquéfacteur (7), une conduite (6) d'alimentation reliant une sortie d'hydrogène gazeux du générateur (2) d'hydrogène gazeux à une entrée du liquéfacteur (7), le liquéfacteur (7) comprenant un réfrigérateur (8) à circuit de cycle configuré pour fournir de la puissance froide et refroidir l'hydrogène gazeux de la conduite (6) d'alimentation en vue de sa liquéfaction, l'installation (1) comprenant au moins un compresseur

(10) de l'hydrogène gazeux produit par le générateur (2) d'hydrogène gazeux et un stockage (9) tampon configuré pour stocker l'hydrogène gazeux comprimé entre le générateur (2) d'hydrogène gazeux et le liquéfacteur (7), le stockage (9) tampon étant raccordé à la conduite (6) d'alimentation via un ensemble de conduite(s) (19, 29) de dérivation, c'est-à-dire que le stockage (9) tampon et le liquéfacteur (7) sont raccordés en parallèle à la sortie d'hydrogène gazeux du générateur (2) d'hydrogène gazeux.

[Fig. 3]

**EP 4 567 358 A1**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
(Cont.)F25J 2210/04; F25J 2210/06;
F25J 2220/02; F25J 2230/24; F25J 2230/30;
F25J 2245/90; F25J 2290/62

Description

[0001] L'invention concerne une installation et un procédé de production d'hydrogène liquéfié.

[0002] L'invention concerne plus particulièrement une installation de production d'hydrogène liquéfié comprenant un générateur d'hydrogène gazeux, par exemple un électrolyseur, configuré pour produire de l'hydrogène gazeux, un liquéfacteur, une conduite d'alimentation reliant une sortie d'hydrogène gazeux du générateur d'hydrogène gazeux à une entrée du liquéfacteur, le liquéfacteur comprenant un réfrigérateur à circuit de cycle configuré pour fournir de la puissance froide et refroidir l'hydrogène gazeux de la conduite d'alimentation en vue de sa liquéfaction, l'installation comprenant au moins un compresseur de l'hydrogène gazeux produit par le générateur d'hydrogène gazeux et un stockage tampon configuré pour stocker l'hydrogène gazeux comprimé entre le générateur d'hydrogène gazeux et le liquéfacteur.

[0003] La production d'hydrogène et la liquéfaction de l'hydrogène à partir d'énergie renouvelable nécessitent une optimisation et des synergies entre les unités de production (typiquement électrolyse) et de liquéfaction.

[0004] Contrairement aux électrolyseurs par exemple, les liquéfacteurs ont une flexibilité relativement faible (taux de changement de débit et/ou temps de démarrage limités).

[0005] En raison de l'intermittence des énergies renouvelables, la quantité d'hydrogène produite peut varier et ceci peut donc poser des problèmes pour le liquéfacteur en aval. Pour résoudre ce problème il est connu de prévoir un stockage tampon entre la production et la liquéfaction cf. par exemple JP2020024064A2, CN107779906 ou US2022316076.

[0006] Cette solution connue est cependant imparfaite car augmente le coût de l'installation sans offrir une flexibilité d'utilisation et une intégration optimale.

[0007] Un but de la présente invention est de pallier tout ou partie des inconvénients de l'art antérieur relevés ci-dessus.

[0008] A cette fin, l'installation selon l'invention, par ailleurs conforme à la définition générique qu'en donne le préambule ci-dessus, est essentiellement caractérisée en ce que le stockage tampon est raccordé à la conduite d'alimentation via un ensemble de conduite(s) de dérivation, c'est-à-dire que le stockage tampon et le liquéfacteur sont raccordés en parallèle à la sortie d'hydrogène gazeux du générateur d'hydrogène gazeux.

[0009] Par ailleurs, des modes de réalisation de l'invention peuvent comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- l'installation comprend un compresseur situé sur l'ensemble de conduite(s) de dérivation,
- l'ensemble de conduite(s) de dérivation comprend une conduite de restitution configurée pour transférer de l'hydrogène gazeux du stockage tampon vers

la conduite d'alimentation,

- la conduite de restitution comprend au moins un organe de détente de l'hydrogène gazeux parmi : une vanne de détente, une turbine, une turbine couplée à un générateur de puissance électrique ou à un compresseur pour former un turbocompresseur,
- le réfrigérateur est du type à circuit de cycle configuré pour produire de la puissance froide en faisant subir un cycle thermodynamique à un gaz de cycle, le circuit de cycle comprenant un ensemble de compresseur(s) du gaz de cycle, au moins un organe de refroidissement du gaz de cycle comprimé et au moins un organe de détente du gaz de cycle comprimé,
- le gaz de cycle est l'hydrogène et le stockage tampon est raccordé au circuit de cycle pour alimenter le circuit de cycle en hydrogène et/ou être alimenté en hydrogène par le circuit de cycle,
- l'installation comporte au moins un compresseur de l'hydrogène gazeux destiné à alimenter le stockage tampon qui est également un compresseur de l'ensemble de compresseur(s) du gaz de cycle,
- la conduite d'alimentation comporte plusieurs compresseurs disposés en série et/ou en parallèle configurés alimenter le stockage tampon et/ou le circuit de cycle en hydrogène comprimé,
- l'ensemble de compresseur(s) du gaz de cycle comprend plusieurs compresseurs disposés en série et/ou en parallèle, l'installation comprenant une conduite de fourniture reliant le stockage tampon à l'entrée ou à la sortie d'au moins un des compresseur(s) du gaz de cycle et configurée pour permettre de fournir de l'hydrogène gazeux sous pression dans le circuit cycle,
- l'installation comporte plusieurs liquéfacteurs raccordés en parallèle à la conduite d'alimentation et raccordés également en parallèle au stockage tampon,
- l'installation comprend un ensemble de stockage(s) d'hydrogène liquide relié(s) à une extrémité de la conduite d'alimentation sortant du liquéfacteur et configuré(s) pour collecter l'hydrogène liquéfié par le liquéfacteur, l'installation comprenant en outre une circuiterie de remplissage raccordée à l'ensemble de stockage(s) d'hydrogène liquide et configuré pour permettre le remplissage de réservoir(s), l'installation comprenant un ensemble de conduite(s) de récupération des gaz de vaporisation générés au niveau de l'ensemble de stockage(s) d'hydrogène liquide et/ou au niveau de la circuiterie de remplissage, l'ensemble de conduite(s) de récupération des gaz de vaporisation étant reliée(s) au circuit d'alimentation,
- le liquéfacteur comprend un dispositif de pré-refroidissement en échange thermique avec la conduite d'alimentation et configuré pour assurer un pré-refroidissement de l'hydrogène gazeux à une tempé-

rature intermédiaire avant son refroidissement par le réfrigérateur, le dispositif de pré-refroidissement comprenant par exemple au moins l'un parmi : un cycle de réfrigération à l'azote ou avec un mélange de réfrigération,

- les réfrigérateurs en parallèle sont du type à circuits de cycle dont le gaz de cycle est l'hydrogène et configurés chacun pour produire de la puissance froide en faisant subir un cycle thermodynamique au gaz de cycle, le stockage tampon étant raccordé en parallèle aux circuits de cycle des réfrigérateurs en parallèle pour alimenter ces derniers en hydrogène et/ou être alimenté en hydrogène par les circuits de cycle,
- le au moins un organe de détente du gaz de cycle comprimé comprend une vanne ou une turbine de détente disposées sur une conduite en dérivation du circuit d'alimentation, en aval d'un dispositif de purification cryogénique de l'hydrogène gazeux à liquéfier,
- la pression de stockage au sein du stockage tampon est variable selon son taux de remplissage entre un niveau maximum déterminé et un niveau minimum qui peut être

[0010] inférieur à la pression cible, (compresseur final éteint). L'invention concerne également un procédé de production d'hydrogène liquéfié utilisant une installation selon l'une quelconque des caractéristiques ci-dessus ou ci-dessous, comportant une étape de fourniture d'hydrogène gazeux comprimé au stockage tampon lorsque le générateur d'hydrogène gazeux produit une quantité d'hydrogène supérieure à un premier seuil et une étape d'alimentation de la conduite d'alimentation avec d'hydrogène gazeux comprimé à partir du stockage tampon lorsque le générateur d'hydrogène gazeux produit une quantité d'hydrogène inférieure à un second seuil.

[0011] Selon d'autres particularités possibles :

- le procédé comporte une étape d'utilisation d'hydrogène comprimé fourni par la conduite d'alimentation et/ou le stockage tampon pour alimenter une portion de compression d'un circuit de cycle à hydrogène du réfrigérateur du liquéfacteur,- le procédé comporte une étape de compression de l'hydrogène gazeux dans la conduite d'alimentation à une pression cible déterminée, par exemple égale à 60bar, le niveau de compression final de la portion de compression du circuit de cycle étant égal à cette pression cible,
- le stockage tampon est configuré pour stocker l'hydrogène gazeux jusqu'à une pression de stockage maximale déterminée qui est supérieure à la pression cible, le stockage tampon étant configuré pour fournir du gaz à la portion de compression du circuit de cycle à la pression cible ou à une pression inférieure à la pression cible,
- le procédé comporte une étape de stockage, dans un stockage d'hydrogène liquide, d'hydrogène li-

quide produit par l'installation et éventuellement une étape de remplissage de réservoir(s) avec de l'hydrogène liquide du stockage d'hydrogène liquide, le procédé comprenant une étape de récupération de gaz de vaporisation générés au de l'étape de stockage et/ou au cours de l'étape de remplissage et une étape de recyclage du gaz de vaporisation récupéré dans la conduite d'alimentation,

- le procédé comprend une étape de production d'électricité à partir du travail mécanique fourni par la détente de l'hydrogène soutiré du stockage tampon.

[0012] L'invention peut concerner également tout dispositif ou procédé alternatif comprenant toute combinaison des caractéristiques ci-dessus ou ci-dessous dans le cadre des revendications.

[0013] D'autres particularités et avantages apparaîtront à la lecture de la description ci-après, faite en référence aux figures dans lesquelles :

Brève description des figures

[0014] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés dans lesquels :

[Fig. 1] est une vue schématique et partielle illustrant la structure et le fonctionnement d'une installation selon un premier exemple de réalisation de l'invention,

[Fig. 2] est une vue schématique et partielle illustrant la structure et le fonctionnement d'une installation selon un deuxième exemple de réalisation de l'invention,

[Fig. 3] est une vue schématique et partielle illustrant la structure et le fonctionnement d'une installation selon un troisième exemple de réalisation de l'invention,

[Fig. 4] est une vue schématique et partielle illustrant la structure et le fonctionnement d'une installation selon un quatrième exemple de réalisation de l'invention,

[Fig. 5] est une vue schématique et partielle illustrant la structure et le fonctionnement d'une installation selon un cinquième exemple de réalisation de l'invention,

[Fig. 6] est une vue schématique et partielle illustrant la structure et le fonctionnement d'une installation selon un sixième exemple de réalisation de l'invention,

[Fig. 7] est une vue schématique et partielle illustrant la structure et le fonctionnement d'une installation selon un septième exemple de réalisation de l'invention,

[Fig. 8] est une vue schématique et partielle illustrant la structure et le fonctionnement d'une installation selon un huitième exemple de réalisation de l'inven-

tion.

Description détaillée

[0015] Sur toutes les figures, les mêmes références se rapportent aux mêmes éléments.

[0016] Dans cette description détaillée, les réalisations suivantes sont des exemples. Bien que la description se réfère à un ou plusieurs modes de réalisation, cela ne signifie pas que les caractéristiques s'appliquent seulement à un seul mode de réalisation. De simples caractéristiques de différents modes de réalisation peuvent également être combinées et/ou interchangées pour fournir d'autres réalisations.

[0017] L'installation 1 de production d'hydrogène liquéfié illustrée comprend générateur 2 d'hydrogène gazeux, par exemple un électrolyseur, configuré pour produire de l'hydrogène gazeux, un liquéfacteur 7 et une conduite 6 d'alimentation reliant une sortie du générateur 2 d'hydrogène gazeux à une entrée du liquéfacteur 7.

[0018] Dans la suite, le générateur 2 d'hydrogène gazeux est désigné électrolyseur. Bien entendu, en variante ou en combinaison ce générateur 2 d'hydrogène gazeux peut comporter un dispositif de reformage notamment auto-thermique (« ATR »).

[0019] Le liquéfacteur 7 comprend un réfrigérateur 8 à circuit de cycle configuré pour fournir de la puissance froide et refroidir l'hydrogène gazeux de la conduite 6 d'alimentation en vue de sa liquéfaction.

[0020] L'installation 1 comprend au moins un compresseur 10 de l'hydrogène gazeux produit par l'électrolyseur 2 et au moins un stockage 9 tampon configuré pour stocker l'hydrogène gazeux comprimé entre l'électrolyseur 2 et le liquéfacteur 7.

[0021] Selon une particularité avantageuse, le stockage 9 tampon est raccordé à la conduite 6 d'alimentation via un ensemble de conduite(s) 19, 29 de dérivation, c'est-à-dire que le stockage 9 tampon et le liquéfacteur 2 sont raccordés en parallèle à la sortie d'hydrogène gazeux de l'électrolyseur 2.

[0022] Cette architecture permet une meilleure interopérabilité entre l'électrolyseur 2 et le liquéfacteur 7.

[0023] Le stockage 9 tampon est de préférence un stockage gazeux à haute pression permettant de stocker de l'hydrogène comprimé lorsque l'électrolyseur 2 produit à pleine capacité et de restituer de l'hydrogène par exemple lorsque la production d'hydrogène par l'électrolyseur 2 est insuffisante (énergie renouvelable faiblement disponible par exemple).

[0024] Comme illustré à la [Fig. 1] au moins un compresseur 10 peut être situé sur l'ensemble de conduite(s) 19 de dérivation.

[0025] En outre, l'ensemble de conduites de dérivation peut comprendre une première conduite 19 configurée pour remplir le stockage 9 tampon et une conduite 29 de restitution configurée pour transférer de l'hydrogène gazeux du stockage 9 tampon vers la conduite 6 d'alimentation.

[0026] La conduite 29 de restitution comprend de préférence au moins un organe 39 de détente de l'hydrogène gazeux parmi : une vanne de détente, une turbine, une turbine couplée à un générateur de puissance électrique ou à un compresseur pour former un turbocompresseur.

[0027] Ainsi, la récupération d'hydrogène gazeux stocké sous pression peut être réalisée lorsque la disponibilité d'hydrogène est faible. Une turbine 39 de production d'électricité peut permettre de produire de l'électricité pendant cette période de restitution (cf. [Fig. 2]).

[0028] Comme illustré notamment aux [Fig. 4] et [Fig. 8], le réfrigérateur 8 assurant le refroidissement de l'hydrogène en vue de sa liquéfaction peut comprendre un réfrigérateur du type à circuit 16 de cycle configuré pour produire de la puissance froide en faisant subir un cycle thermodynamique à un gaz de cycle comprenant par exemple de l'hélium et/ou de l'hydrogène. Le circuit 16 de cycle d'un tel réfrigérateur 8 comprend typiquement un ensemble de compresseurs du gaz de cycle, au moins un organe 13 de refroidissement du gaz de cycle comprimé (un ou plusieurs échangeurs de chaleur) et au moins un organe 15 de détente du gaz de cycle comprimé (vanne(s) et/ou turbine(s)). Dans l'exemple de la [Fig. 8], le circuit 16 de cycle du réfrigérateur est distinct de la conduite 6 d'alimentation. De plus ce circuit 16 de cycle est fermée. Après une compression 11 à température ambiante, le gaz de cycle est refroidi dans un premier ensemble d'échangeur de chaleur 13 (jusqu'à une première température, par exemple de l'ordre de 80K). Le gaz de cycle est ensuite détendu (vanne 15) et produit une puissance froide qui est fournie à la conduite 6 d'alimentation dans un échangeur 14 de chaleur plus froid (typiquement autour de 20K). Le gaz de cycle qui a fourni la puissance froide est renvoyé à la compression et se réchauffe en refroidissant le flux de gaz de cycle qui va être détendu. En retournant à la compression le gaz de cycle refroidit également la conduite 6 d'alimentation en sens inverse (typiquement à contre-courant).

[0029] Comme illustré, le liquéfacteur 7 peut comprendre au moins un dispositif 12 de pré-refroidissement en échange thermique avec la conduite 6 d'alimentation et le circuit 16 de cycle et configuré pour assurer un pré-refroidissement de l'hydrogène gazeux à une température intermédiaire (80K) avant son refroidissement par le réfrigérateur 8. Ce dispositif 12 de pré-refroidissement comprend par exemple au moins l'un parmi : un cycle de réfrigération à l'azote ou avec un mélange de réfrigération en échange thermique avec un ensemble d'échangeur 13 de pré-refroidissement (par exemple dans une première boîte froide de pré-refroidissement).

[0030] Dans l'exemple de la [Fig. 4], le gaz de cycle est l'hydrogène (c'est-à-dire de même nature que le gaz à liquéfier). Dans cette configuration, le stockage 9 tampon peut être raccordé au circuit 16 de cycle pour alimenter le circuit 16 de cycle en hydrogène et/ou pour éventuellement être alimenté en hydrogène par le circuit de cycle. C'est-à-dire que le circuit 16 de cycle peut être ouvert.

[0031] Cette configuration permet de mutualiser des composants de l'installation 1. Ainsi, au moins un compresseur 10 de l'hydrogène gazeux destiné à alimenter le stockage 9 tampon peut être également un compresseur de l'ensemble de compresseur(s) 10, 11 du gaz de cycle (cf. [Fig. 3] ou [Fig. 4]). Ainsi, une partie de la conduite 6 d'alimentation peut constituer également une portion du circuit 16 de cycle.

[0032] Ceci est illustré également à la [Fig. 4] où le circuit 16 de cycle du réfrigérateur 8 peut être en partie commun avec la conduite 6 d'alimentation. Ainsi, par exemple, en aval d'un échangeur de pré-refroidissement 13, la conduite 6 d'alimentation peut comporter un système 25 de purification cryogénique (du type TSA par exemple) puis un organe 36 de détente (vanne par exemple) de détente en vue de la liquéfaction (refroidissement 14 en dessous de la température critique). En aval, la conduite 6 d'alimentation peut alimenter en hydrogène liquéfié un stockage 18 d'hydrogène liquide.

[0033] Comme illustré, en aval du dispositif 25 de purification cryogénique de l'hydrogène gazeux à liquéfier, l'installation 1 peut comporter une conduite de dérivation munie d'un organe 15 de détente (vanne par exemple) et raccordé au reste du circuit 16 de cycle. C'est-à-dire que le circuit 16 de cycle, après la compression 11 à température non cryogénique peut comprendre un passage dans la conduite 6 d'alimentation dans lequel le gaz de cycle est pré-refroidi 13 puis purifié 25 puis détendu 15 avant de fournir sa puissance froide à la conduite 6 d'alimentation et de retourner vers la compression 11 (en cédant ses frigories dans les échangeurs de chaleurs en se réchauffant). C'est-à-dire que la pression de compression dans le circuit 16 de cycle et la pression dans la conduite 6 d'alimentation peuvent être réglés au même niveau et ces flux peuvent être mélangés dans une partie de la conduite 6 d'alimentation jusqu'à la sortie du dispositif 25 de purification cryogénique. En aval de cette purification 25 cryogénique, une partie de l'hydrogène est détendu 36 en vue de la liquéfaction tandis qu'une autre partie est utilisée comme gaz de cycle à haute pression.

[0034] Comme illustré à la [Fig. 3], la conduite 6 d'alimentation peut comporter plusieurs compresseurs 10 disposés en série (et/ou en parallèle) configurés alimenter le stockage 9 tampon et/ou le circuit 16 de cycle en hydrogène comprimé.

[0035] Par exemple, la compression peut être étagée entre une pression initiale de l'ordre de la pression atmosphérique et un niveau de pression supérieur à 60bar, par exemple supérieure à 100bar notamment supérieur à 200bar pour alimenter le stockage 9 tampon. A la sortie d'un étage de compression intermédiaire (niveau de pression cible, par exemple à 60bar) la conduite 6 d'alimentation alimente par exemple le circuit 16 de cycle du réfrigérateur 8. En aval de cet étage de compression intermédiaire, la conduite 19 de dérivation peut comprimer avec au moins un compresseur 10 supplémentaire l'hydrogène pour alimenter le stockage 9 tampon à une

pression qui peut être supérieure.

[0036] Comme illustré schématiquement à la [Fig. 3], la conduite 29 de restitution peut alimenter (avec détente 39 le cas échéant) la conduite 6 d'alimentation en aval de l'étage de compression intermédiaire. De même, il peut être prévu une conduite 139 permettant au stockage 9 tampon de transférer du fluide à l'entrée de l'étage de compression intermédiaire (ou un étage de compression amont), pour alimenter la conduite 6 d'alimentation plus en amont à une pression plus basse (par exemple lorsque la pression dans le stockage 9 tampon est relativement basse).

[0037] La pression au sein du stockage 9 tampon peut être variable selon son taux de remplissage entre un niveau maximum déterminé (par exemple 250 bara) et un niveau minimum et par exemple un niveau de pression qui peut être inférieur à la pression cible du circuit de cycle, (compresseur(s) 10 final éteint).

[0038] Ceci permet d'utiliser le stockage tampon 9 jusqu'à une pression relativement basse, par exemple 5 bara. L'utilisation de toute la pression du stockage 9 tampon permet d'en réduire sa taille (typiquement de 10% à 25% pour la même quantité d'hydrogène stockée).

[0039] Ainsi, le stockage tampon 9 peut être configuré pour stocker l'hydrogène gazeux jusqu'à une pression de stockage maximale déterminée (par exemple 250 bar) qui est supérieure à la pression cible (par exemple 60bar) mais le stockage 9 tampon peut être configuré pour fournir du gaz à la portion de compression du circuit de cycle (et/ou à la conduite 6 d'alimentation) à la pression cible ou à une pression inférieure à la pression cible. Comme illustrée également à la [Fig. 3], une conduite du circuit de cycle peut renvoyer du gaz de cycle vers la compression (à un étage intermédiaire avec ou sans une compression 11 le cas échéant).

[0040] Comme illustré schématiquement à la [Fig. 5], un autre utilisateur 26 de l'hydrogène gazeux comprimé peut être reliée en dérivation de la conduite 6 d'alimentation (en parallèle à l'entrée du liquéfacteur et en parallèle du stockage 9 tampon). En outre, une conduite 161 ou boucle supplémentaire avec un compresseur 11 peut être prévue pour alimenter le circuit 16 de cycle en hydrogène à la pression intermédiaire (60bar). De même, une autre conduite 17 de fourniture peut relier le stockage 9 tampon à l'entrée ou à la sortie d'au moins un des compresseur(s) 11 du gaz de cycle et peut être configurée pour permettre de fournir de l'hydrogène gazeux sous pression dans le circuit 16 cycle à un niveau de pression déterminé.

[0041] Comme illustré schématiquement à la [Fig. 7], l'installation 1 peut comprendre au moins un stockage 18 d'hydrogène liquide relié à une extrémité aval de la conduite 6 d'alimentation sortant du liquéfacteur 7. Le stockage 18 est du type cryogénique et configuré pour collecter l'hydrogène liquéfié par le liquéfacteur 7.

[0042] L'installation 1 peut comprendre une circuiterie 20 de remplissage raccordée au stockage 18 d'hydrogène liquide et configurée pour permettre le remplissage

de réservoir(s) 21, par exemple des réservoirs mobiles (camion de livraison typiquement). L'installation 1 comprend à cet effet un ensemble de conduite(s) 22, 23, 24 de récupération des gaz de vaporisation générés au niveau du stockage 18 d'hydrogène liquide et/ou au niveau de la circuiterie 20 de remplissage (par exemple pour récupérer le gaz de vaporisation des réservoirs 21 à remplir). Cette ensemble de conduite(s) 22, 23, 24 de récupération des gaz de vaporisation est reliée(s) au circuit 6 d'alimentation pour recycler le cas échéant le gaz de vaporisation récupéré dans la conduite 6 d'alimentation (le cas échéant avec une compression 111).

[0043] Ainsi, du gaz de vaporisation à pression intermédiaire peut être récupéré en début de dépressurisation des camions/navires 21, ce gaz de vaporisation peut être mélangé à l'hydrogène de la conduite 6 d'alimentation avec ou sans compresseur 11 intermédiaire selon le niveau de pression.

[0044] Comme illustré schématiquement à la [Fig. 6], l'installation 1 peut comporter plusieurs liquéfacteurs 7 raccordés en parallèle à la conduite 6 d'alimentation et raccordés également en parallèle au stockage 9 tampon.

[0045] Les processus décrits ci-dessus et ci-dessous peuvent donc s'appliquer (simultanément ou non) à tout ou partie des liquéfacteurs en parallèle.

[0046] L'invention permet une adaptation de l'installation aux fluctuations de production (énergie renouvelable intermittente par exemple) avec une intégration offrant un maximum de synergies.

Revendications

1. Installation de production d'hydrogène liquéfié comprenant un générateur (2) d'hydrogène gazeux, par exemple un électrolyseur (2), configuré pour produire de l'hydrogène gazeux, un liquéfacteur (7), une conduite (6) d'alimentation reliant une sortie d'hydrogène gazeux du générateur (2) d'hydrogène gazeux à une entrée du liquéfacteur (7), le liquéfacteur (7) comprenant un réfrigérateur (8) à circuit de cycle configuré pour fournir de la puissance froide et refroidir l'hydrogène gazeux de la conduite (6) d'alimentation en vue de sa liquéfaction, l'installation (1) comprenant au moins un compresseur (10) de l'hydrogène gazeux produit par le générateur (2) d'hydrogène gazeux et un stockage (9) tampon configuré pour stocker l'hydrogène gazeux comprimé entre le générateur (2) d'hydrogène gazeux et le liquéfacteur (7), le stockage (9) tampon étant raccordé à la conduite (6) d'alimentation via un ensemble de conduite(s) (19, 29) de dérivation, c'est-à-dire que le stockage (9) tampon et le liquéfacteur (7) sont raccordés en parallèle à la sortie d'hydrogène gazeux du générateur (2) d'hydrogène gazeux, le réfrigérateur (8) étant du type à circuit (16) de cycle configuré pour produire de la puissance froide en faisant subir un cycle thermodynamique à un gaz de

cycle, le circuit (16) de cycle comprenant un ensemble de compresseur(s) (10, 11) du gaz de cycle, au moins un organe (13) de refroidissement du gaz de cycle comprimé et au moins un organe (15) de détente du gaz de cycle comprimé, **caractérisée en ce que** le gaz de cycle est l'hydrogène et **en ce que** le stockage (9) tampon est raccordé au circuit (16) de cycle pour alimenter le circuit (16) de cycle en hydrogène et/ou être alimenté en hydrogène par le circuit de cycle.

2. Installation selon la revendication 1, **caractérisée en ce qu'elle** comprend un compresseur (10) situé sur l'ensemble de conduite(s) (19, 29) de dérivation.

3. Installation selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** l'ensemble de conduite(s) (19, 29) de dérivation comprend une conduite (29) de restitution configurée pour transférer de l'hydrogène gazeux du stockage (9) tampon vers la conduite (6) d'alimentation.

4. Installation selon la revendication 3, **caractérisée en ce que** la conduite (29) de restitution comprend au moins un organe (39) de détente de l'hydrogène gazeux parmi : une vanne de détente, une turbine, une turbine couplée à un générateur de puissance électrique ou à un compresseur pour former un turbocompresseur.

5. Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisée en ce que** qu'elle comporte au moins un compresseur (10) de l'hydrogène gazeux destiné à alimenter le stockage (9) tampon qui est également un compresseur de l'ensemble de compresseur(s) (10, 11) du gaz de cycle.

6. Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisée en ce que** la conduite (6) d'alimentation comporte plusieurs compresseurs (10) disposés en série et/ou en parallèle configurés pour alimenter le stockage (9) tampon et/ou le circuit (16) de cycle en hydrogène comprimé.

7. Installation selon la revendication 6 **caractérisée en ce que** l'ensemble de compresseur(s) (10, 11) du gaz de cycle comprend plusieurs compresseurs (10, 11) disposés en série et/ou en parallèle, l'installation (1) comprenant une conduite (17) de fourniture reliant le stockage (9) tampon à l'entrée ou à la sortie d'au moins un des compresseur(s) (11) du gaz de cycle et configurée pour permettre de fournir de l'hydrogène gazeux sous pression dans le circuit (16) de cycle.

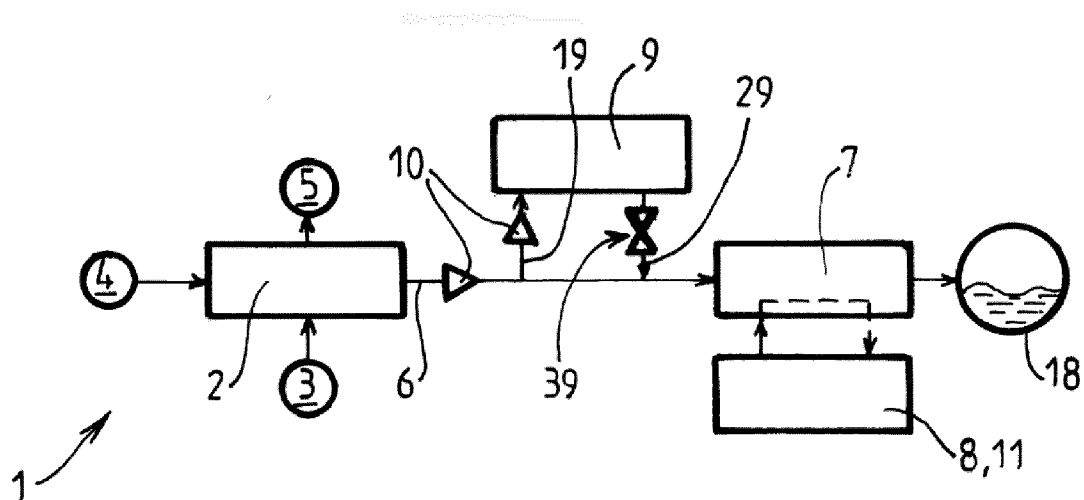
8. Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisée en ce qu'elle** comporte plusieurs liquéfacteurs (7) raccordés en parallèle à la

conduite (6) d'alimentation et raccordés également en parallèle au stockage (9) tampon.

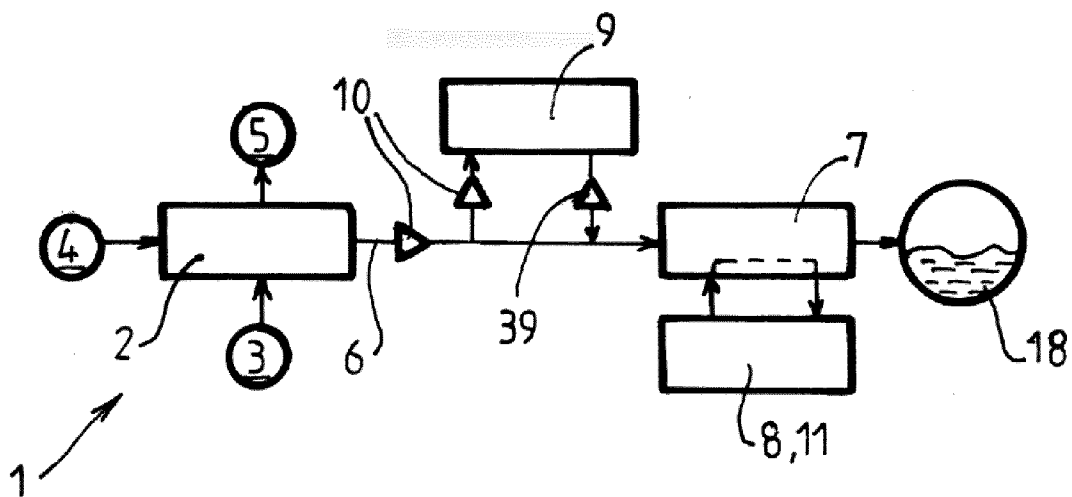
9. Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisée en ce qu'**elle comprend un ensemble de stockage(s) (18) d'hydrogène liquide relié(s) à une extrémité de la conduite (6) d'alimentation sortant du liquéfacteur (7) et configuré(s) pour collecter l'hydrogène liquéfié par le liquéfacteur (7), l'installation (1) comprenant en outre une circuiterie (20) de remplissage raccordée à l'ensemble de stockage(s) (18) d'hydrogène liquide et configuré pour permettre le remplissage de réservoir(s) (21), l'installation (1) comprenant un ensemble de conduite(s) (22, 23, 24) de récupération des gaz de vaporisation générés au niveau de l'ensemble de stockage(s) (18) d'hydrogène liquide et/ou au niveau de la circuiterie (20) de remplissage, l'ensemble de conduite(s) (22, 23, 24) de récupération des gaz de vaporisation étant reliée(s) au circuit (6) d'alimentation. 5 10 15 20
10. Procédé de production d'hydrogène liquéfié utilisant une installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce qu'**il comporte une étape de fourniture d'hydrogène gazeux comprimé au stockage (9) tampon lorsque le générateur d'hydrogène gazeux (2) produit une quantité d'hydrogène supérieure à un premier seuil et une étape d'alimentation de la conduite d'alimentation (6) avec d'hydrogène gazeux comprimé à partir du stockage (9) tampon lorsque le générateur d'hydrogène gazeux (2) produit une quantité d'hydrogène inférieure à premier un second seuil. 25 30
11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce qu'**il comporte une étape d'utilisation d'hydrogène comprimé fourni par la conduite (6) d'alimentation et/ou le stockage (9) tampon pour alimenter une portion de compression d'un circuit de cycle à hydrogène du réfrigérateur (8) du liquéfacteur (7). 35 40
12. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce qu'**il comporte une étape de compression de l'hydrogène gazeux dans la conduite d'alimentation (6) à une pression cible déterminée, par exemple égale à 60bar, et **en ce que** le niveau de compression final de la portion de compression du circuit de cycle est égal à cette pression cible. 45
13. Procédé selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** le stockage (9) tampon est configuré pour stocker l'hydrogène gazeux jusqu'à une pression de stockage maximale déterminée qui est supérieure à la pression cible, le stockage (9) tampon étant configuré pour fournir du gaz à la portion de compression du circuit de cycle à la pression cible ou à une pression inférieure à la pression cible. 50 55

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 13, **caractérisé en ce qu'**il comporte une étape de stockage, dans un stockage(s) (18) d'hydrogène liquide, d'hydrogène liquide produit par l'installation (1) et éventuellement une étape de remplissage de réservoir(s) (21) avec de l'hydrogène liquide du stockage (18) d'hydrogène liquide, le procédé comprenant une étape de récupération de gaz de vaporisation générés au cours de l'étape de stockage et/ou au cours de l'étape de remplissage et une étape de recyclage du gaz de vaporisation récupéré dans la conduite (6) d'alimentation.

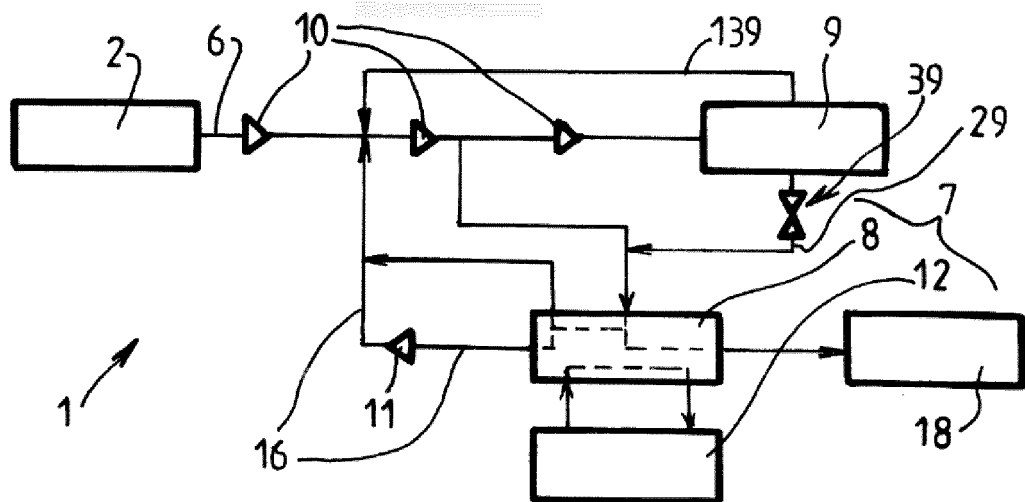
[Fig. 1]



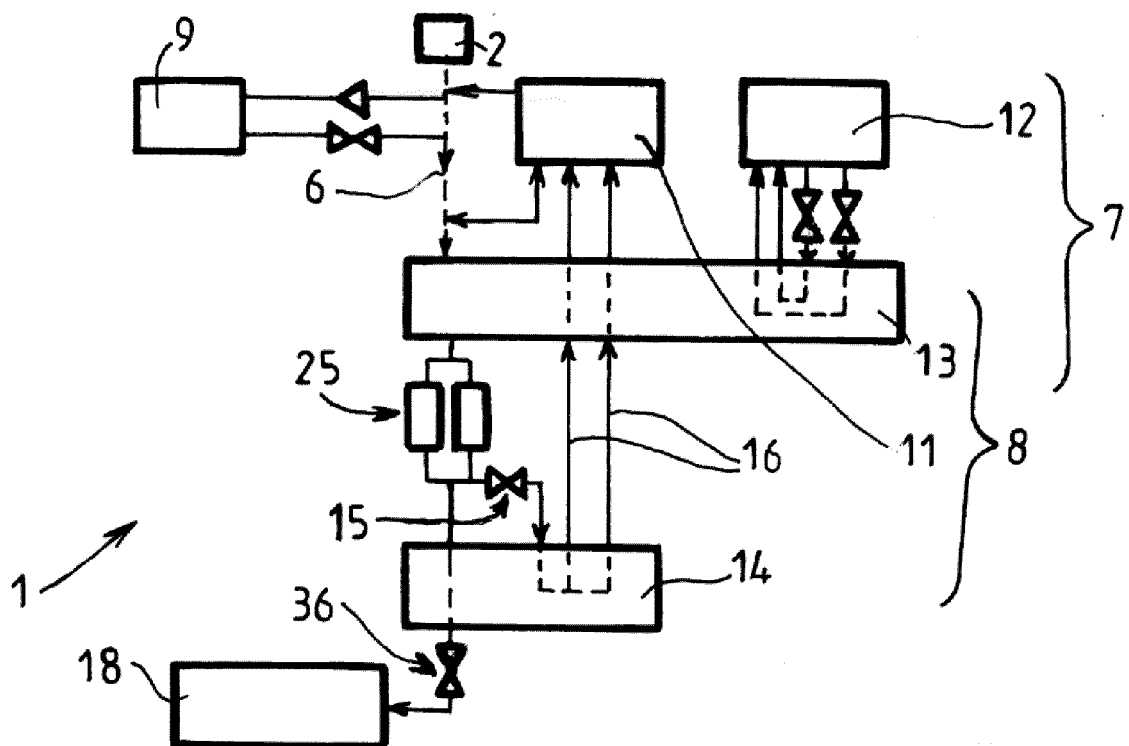
[Fig. 2]



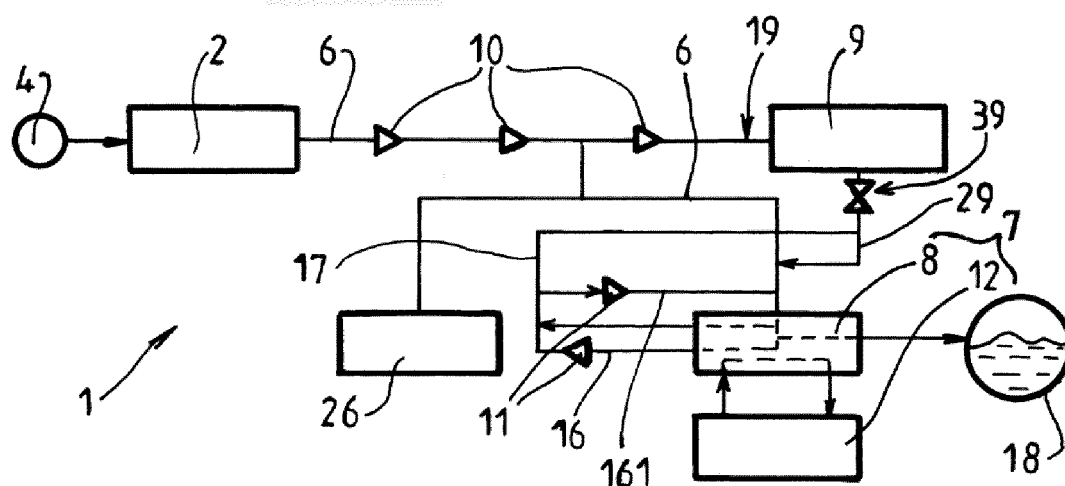
[Fig. 3]



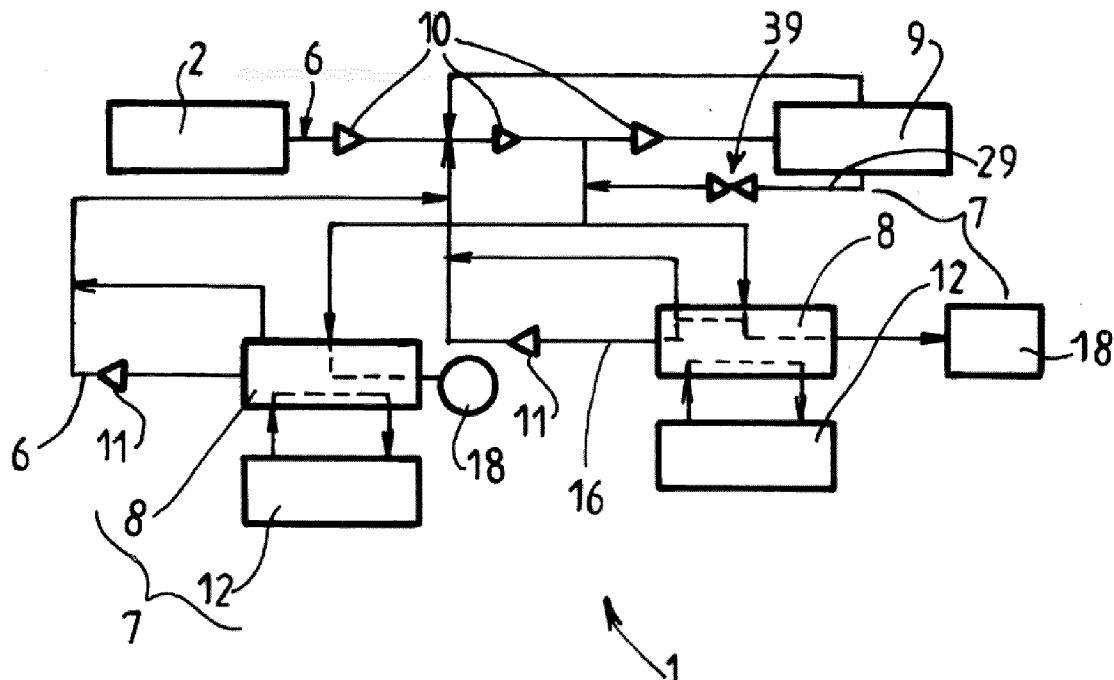
[Fig. 4]



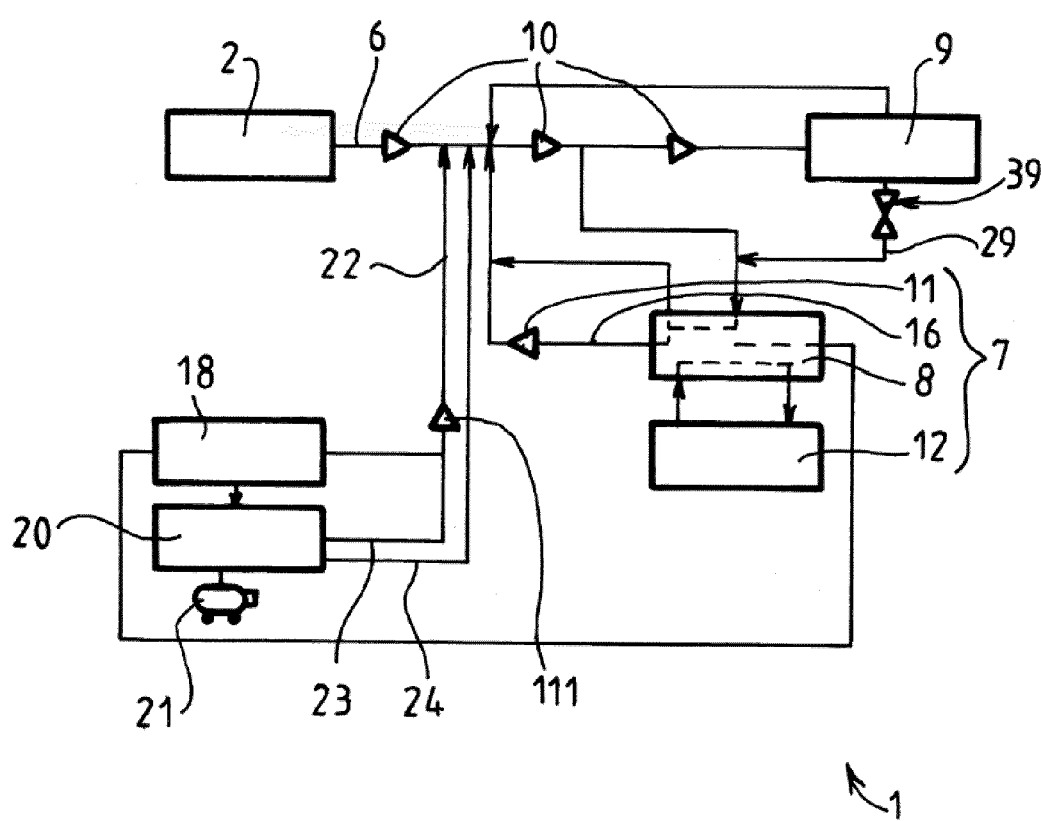
[Fig. 5]



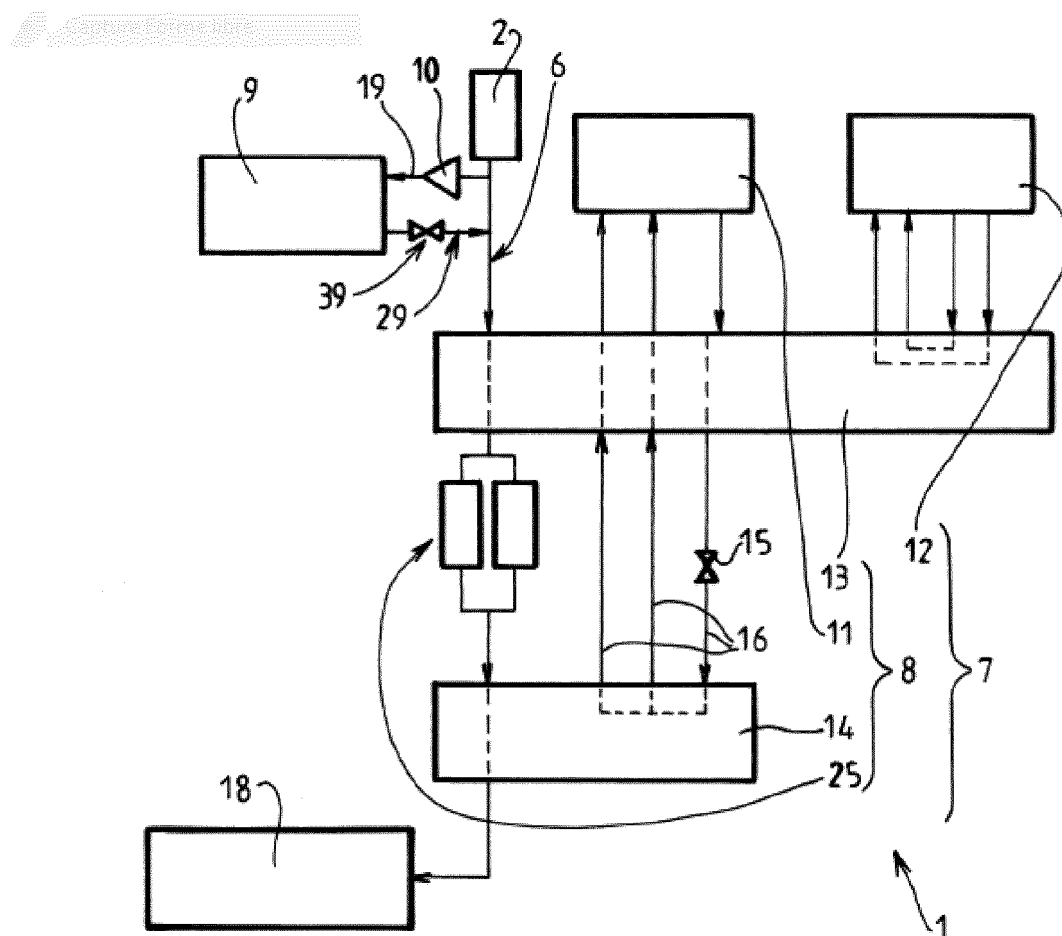
[Fig. 6]



[Fig. 7]



[Fig. 8]





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 24 21 1810

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	FR 1 217 272 A (BRITISH OXYGEN CO LTD) 3 mai 1960 (1960-05-03)	1,6, 10-12	INV. F25J1/00
Y	* page 2, colonne 2, alinéa dernier - page 3, colonne 1, alinéa 2 *	2-4,8,9, 14	F25J1/02
A	* page 3, colonne 2, alinéa 5; figure * -----	5,13	
Y	EP 4 202 338 A1 (AIR LIQUIDE [FR]) 28 juin 2023 (2023-06-28) * figure 4 *	1-14	
Y	US 2020/141640 A1 (TURNER MIKE [US] ET AL) 7 mai 2020 (2020-05-07) * figure 4 *	1-14	
Y	CN 116 294 427 A (SHANGHAI SIQING TECH CO LTD) 23 juin 2023 (2023-06-23) * revendication 2; figure 2 *	7	
A	US 2023/119575 A1 (LE BOT PATRICK [FR] ET AL) 20 avril 2023 (2023-04-20) * figure 1 *	1,9-11, 14	
A	US 2014/053598 A1 (ISHIMARU HIDETSUGU [JP] ET AL) 27 février 2014 (2014-02-27) * figure 1 *	1,10,11	F25J
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
Munich		5 mars 2025	Göritz, Dirk
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 24 21 1810

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de
recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

05-03-2025

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 1217272 A	03-05-1960	BE 573733 A	05-03-2025
		DE 1082287 B	25-05-1960
		FR 1217272 A	03-05-1960
		GB 892601 A	28-03-1962
		US 2983585 A	09-05-1961

EP 4202338 A1	28-06-2023	CA 3231789 A1	30-03-2023
		CN 117999451 A	07-05-2024
		EP 4202338 A1	28-06-2023
		EP 4405627 A1	31-07-2024
		JP 2024533591 A	12-09-2024
		KR 20240088926 A	20-06-2024
		US 2024401876 A1	05-12-2024
		WO 2023046889 A1	30-03-2023

US 2020141640 A1	07-05-2020	AU 2019257452 A1	21-05-2020
		CN 111156788 A	15-05-2020
		US 2020141640 A1	07-05-2020

CN 116294427 A	23-06-2023	AUCUN	

US 2023119575 A1	20-04-2023	AU 2021240847 A1	15-09-2022
		CA 3171542 A1	30-09-2021
		EP 4127582 A1	08-02-2023
		FR 3108390 A1	24-09-2021
		KR 20220157389 A	29-11-2022
		US 2023119575 A1	20-04-2023
		WO 2021190892 A1	30-09-2021

US 2014053598 A1	27-02-2014	AU 2011365154 A1	24-10-2013
		CN 103477174 A	25-12-2013
		JP 5824229 B2	25-11-2015
		JP 2012219711 A	12-11-2012
		US 2014053598 A1	27-02-2014
		WO 2012137270 A1	11-10-2012

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- JP 2020024064 A [0005]
- CN 107779906 [0005]
- US 2022316076 A [0005]