

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

①1 N° de publication : **3 137 925**

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **22 07218**

⑤1 Int Cl⁸ : **C 25 B 1/04 (2022.01), C 25 B 1/50, C 25 B 15/08**

①2

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 Installation et procédé de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau avec séparations gaz-liquide dans les lignes d'acheminement des flux.

②2 Date de dépôt : 13.07.22.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 19.01.24 Bulletin 24/03.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 12.07.24 Bulletin 24/28.

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) : *Technip Energies France Société
par actions simplifiée (SAS) — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : de Sorbier Thibault, VAN-
INGHELANDT Anne-Sophie et SELLINI Marc.

⑦3 Titulaire(s) : Technip Energies France Société par
actions simplifiée (SAS).

⑦4 Mandataire(s) : WR Europe SNC.

FR 3 137 925 - B1



Description

Titre de l'invention : Installation et procédé de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau avec séparations gaz-liquide dans les lignes d'acheminement des flux

- [0001] La présente invention est relative à une installation de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau et à un procédé de production d'hydrogène mettant en œuvre ladite installation.
- [0002] Elle s'applique notamment, mais non exclusivement, à la fourniture d'hydrogène en vue de son stockage, par exemple sous forme pressurisée, ou à son utilisation dans une unité, de type raffinerie, de transformation de l'hydrogène en un autre vecteur chimique tel que le méthanol, l'ammoniac, ou des carburants (tel que le carburant durable d'aviation – en anglais sustainable aviation fuel SAF) ou à son exportation vers un système de pipeline, ou à sa consommation en tant que gaz combustible dans une pile à combustible ou dans un brûleur.
- [0003] On connaît la nécessité de réduire notre production de gaz à effet de serre et d'utiliser des énergies renouvelables. L'hydrogène est une alternative aux hydrocarbures car il s'agit d'une source d'énergie facilement stockable, contrairement à l'électricité, et son oxydation dégage une énergie très importante (285 kJ/mole). On connaît plusieurs façons de produire de l'hydrogène ; la plus avantageuse consiste à électrolyser la molécule d'eau car il s'agit d'une réaction à haut rendement qui ne produit pas de CO₂ contrairement aux procédés utilisés massivement que sont le reformage du méthane et d'hydrocarbures.
- [0004] Les unités d'électrolyse sont actuellement composées d'un certain nombre de modules dans lesquels l'électrolyse a lieu ainsi qu'un nombre important d'équipements permettant son bon fonctionnement : électrolyseurs, ballons de séparation, pompes, refroidisseurs de gaz, refroidisseurs de liquides, tuyauteries, instrumentations... Les installations de production d'électrolyse à grande capacité sont donc conçues dans une approche modulaire : on met côte à côte, autrement dit en parallèle, un nombre important de petites unités d'électrolyse jusqu'à atteindre la quantité d'électrolyse voulue. Il en résulte un nombre d'équipements très important qui engendre :
- [0005] - Une augmentation des risques HSE (Hygiène – Sécurité – Environnement), en particulier liés aux risques d'explosion dus à la présence d'hydrogène ;
- [0006] - Une augmentation de la taille de l'installation et de l'occupation au sol de l'installation notamment due aux distances de sécurité à respecter entre les différents équipements mais également entre les équipements et l'environnement extérieur ; et
- [0007] - Une augmentation du prix important de l'installation.

- [0008] Partant de là, un problème qui se pose est de fournir une installation améliorée de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau, autrement dit une installation présentant un risque HSE limité et un nombre réduit d'équipements.
- [0009] Une solution de la présente invention est une installation de production d'hydrogène comprenant :
- [0010] - Une série de n électrolyseurs 4 configurés pour électrolyser l'eau 1 et générer un mélange hydrogène-solution aqueuse 5, ladite série présentant une capacité globale supérieure à 40 MW,
- [0011] - Au moins un dispositif de séparation gaz-liquide 8 configuré pour éliminer la solution aqueuse contenue dans le mélange hydrogène-solution aqueuse 5 généré par la série de n électrolyseurs 4, et produire un flux d'hydrogène 9,
- [0012] - Un moyen de récupération d'un flux d'hydrogène 24,
- [0013] - Un moyen de récupération d'un flux de solution aqueuse 25,
- [0014] Avec ledit dispositif de séparation gaz-liquide 8 comprenant deux lignes d'acheminement de flux – une ligne d'acheminement supérieure 21 et une ligne d'acheminement inférieure 22 - disposées l'une au-dessus de l'autre, avec la ligne d'acheminement supérieure 21 raccordée fluidiquement au moyen de récupération du flux d'hydrogène 24 et la ligne d'acheminement inférieure 22 raccordée fluidiquement au moyen de récupération du flux de solution aqueuse 25; l'une et/ou l'autre des deux lignes d'acheminement étant alimentées par le mélange hydrogène - solution aqueuse 5 et les deux lignes d'acheminement 21 et 22 étant reliées fluidiquement l'une à l'autre par un ou plusieurs tronçons 23 de manière à permettre un passage de l'hydrogène de la ligne inférieure 22 à la ligne supérieure 21 et/ou un passage de la solution aqueuse de la ligne supérieure 21 à la ligne inférieure 22.
- [0015] Autrement dit dans la solution selon l'invention, l'hydrogène et la solution aqueuse seront séparés tout au long des lignes d'acheminement par gravité. La solution aqueuse descendra par gravité dans la ligne d'acheminement inférieure par l'intermédiaire des tronçons tandis que l'hydrogène montera dans la ligne d'acheminement supérieure également par l'intermédiaire des tronçons. Chaque tronçon pourra voir à la fois des flux montants et descendants. Notons que les flux descendants pourront également comprendre des condensats qui se seraient formés dans la ligne d'acheminement supérieure. Il va de soi que ces condensats sont essentiellement constitués d'eau.
- [0016] Par « au moins un dispositif de séparation gaz-liquide » on entend que l'installation peut comprendre plusieurs dispositifs de séparation gaz-liquide en parallèle ou en série.
- [0017] Par « lignes d'acheminement disposées l'une au-dessus de l'autre » on entend qu'elles sont disposées l'une au-dessus de l'autre selon un axe vertical ou qu'elles sont disposées l'une au-dessus de l'autre mais décalées horizontalement.
- [0018] Les lignes d'acheminement pourront être rectilignes ou courbées.

- [0019] Le moyen de récupération de la solution aqueuse 25 pourra comprendre un tuyau installé en parallèle de la ligne d'acheminement inférieure 22, de préférence en dessous de la ligne d'acheminement inférieure 22, dans lequel pourra circuler au moins une partie du flux de solution aqueuse ; solution aqueuse soutirée dans ce cas là à différents points de la ligne d'acheminement inférieure 22.
- [0020] De préférence, chaque électrolyseur consiste en un empilement de plusieurs cellules d'électrolyse pouvant être le plus probablement de type alcalin ou PEM (membrane échangeuse de protons – « proton exchange membrane » en anglais) montées en série, que l'on appelle communément un stack. Le stack est alimenté en courant continu par un système de distribution électrique dont la tension de sortie peut être réglable. D'autres types de cellules d'électrolyse peuvent être utilisés tels que les cellules AEM (membrane échangeuse d'anions – « anion exchange membrane » en anglais, les SOEC (cellules électrolytiques à oxyde solide – « solid oxide electrolysis cells » en anglais, les PCEC (cellules électrochimique céramique protonique - « protonic ceramic electrochemical cell » en anglais). Plus généralement, tout type d'électrolyseur pourra être utilisé.
- [0021] Par « capacité globale » de la série de n électrolyseurs, on entend le cumul des n capacités des n électrolyseurs.
- [0022] Préférentiellement, la série de n modules d'électrolyse de l'eau présentera une capacité globale supérieure à 100MW, voire supérieure à plusieurs centaines de MW.
- [0023] Typiquement, pour une capacité d'électrolyse d'environ 5MW par stack, « n » pourra être compris entre 8 et 200, de préférence entre 16 et 40.
- [0024] Il va de soi que la série de n modules d'électrolyse de l'eau génère en plus de l'hydrogène de l'oxygène. Aussi avantageusement, l'installation comprendra un deuxième dispositif de séparation gaz-liquide configuré pour éliminer la solution aqueuse (ou eau comprenant jusqu'à environ 40% massique de sels) contenue dans le mélange oxygène-solution aqueuse généré par la série de n électrolyseurs. L'installation selon l'invention comprendra donc préférentiellement un moyen de récupération d'un flux d'oxygène et un deuxième dispositif de séparation gaz-liquide comprenant deux lignes d'acheminement de flux – une ligne d'acheminement supérieure et une ligne d'acheminement inférieure - disposées l'une au-dessus de l'autre, avec la ligne d'acheminement supérieure raccordée fluidiquement au moyen de récupération du flux d'oxygène et la ligne de conduite inférieure raccordée fluidiquement au moyen de récupération du flux de solution aqueuse; l'une et/ou l'autre des deux lignes d'acheminement étant alimentées par le mélange oxygène - solution aqueuse 6 et les deux lignes étant reliées fluidiquement l'une à l'autre par un ou plusieurs tronçons de manière à permettre un passage de l'oxygène de la ligne inférieure à la ligne supérieure et/ou un passage de la solution aqueuse de la ligne inférieure à la ligne

supérieure. Le flux d'oxygène 15 récupéré en sortie du deuxième dispositif de séparation gaz-liquide sera ensuite refroidi dans un refroidisseur 16 à une température comprise entre 30 et 40°C, puis collecté dans un système de collecte 19 ou sera plus généralement envoyé à l'atmosphère.

- [0025] L'eau pourra être stockée dans un réservoir de stockage raccordé au circuit d'alimentation en eau en amont de la série de n électrolyseurs. Le circuit d'alimentation en eau peut être branché sur l'eau courante et comporte plusieurs unités de purification de l'eau, pouvant être de type différent (par exemple à résine et/ou à charbon actif) pour une meilleure purification. Par exemple, un capteur de conductivité monté sur le circuit d'alimentation en eau permet de vérifier en continu le degré de pureté de l'eau. L'utilisation d'analyseurs peut également permettre de suivre le niveau d'impureté en sel dans l'eau purifiée.
- [0026] L'installation selon l'invention pourra comprendre des boucles de recyclage de la solution aqueuse entre les dispositifs de séparation gaz-liquide et la série de n électrolyseurs. Avantageusement chaque boucle de recyclage comprendra un refroidisseur afin de refroidir la solution aqueuse à une température inférieure à celle des électrolyseurs, de préférence à une température comprise entre 50 et 80°C, encore plus préférentiellement à une température comprise entre 60 et 70°C.
- [0027] A la sortie de l'installation selon l'invention, l'hydrogène et l'oxygène sont conduits vers des circuits d'extraction. Par mesure de sécurité, ces circuits d'extraction peuvent être dotés de moyens d'évacuation des gaz, par exemple des soupapes ou événements, destinées à faire baisser instantanément la pression en cas de surpression ou d'explosion ou d'incendie.
- [0028] Selon le cas, l'installation selon l'invention peut présenter une ou plusieurs des caractéristiques ci-dessous :
- [0029] - le dispositif de séparation gaz-liquide 8 est connecté à une capacité supérieure à 40 MW, de préférence supérieure à 100MW ;
- [0030] - les deux lignes d'acheminement 21 et 22 sont en tous points séparées l'une de l'autre d'une distance minimale comprise entre 0,1 et 10 m, de préférence entre 0,5 et 1,5 m;
- [0031] - les deux lignes d'acheminement 21 et 22 forment un angle α compris entre 0 et 45°, de préférence entre 0 et 10°,
- [0032] - les tronçons 23 sont séparés les uns des autres d'une distance comprise entre 0,5 et 10 m, de préférence comprise entre 4 et 6 m; Notons que si les électrolyseurs sont de type alcalin, les tronçons 23 seront de préférence séparés les uns des autres d'une distance comprise entre 4 et 6 m.
- [0033] - les deux lignes d'acheminement 21 et 22 présentent un diamètre exprimé en millimètre compris entre 1 et 20 fois la capacité globale des électrolyseurs 4 exprimée

en MW, de préférence compris entre 3 et 15 fois la capacité globale des électrolyseurs 4 exprimée en MW, et les tronçons 23 présentent un diamètre exprimé en millimètre compris entre 0.1 et 5 fois la capacité globale des électrolyseurs 4 exprimée en MW, de préférence compris entre 0.5 et 2 fois la capacité globale des électrolyseurs (4) exprimée en MW. A noter que ces différents diamètres permettent de limiter l'accumulation des liquides, la turbulence, les pertes de charges et les risques de bourrage ;

[0034] - l'installation comprend une pompe de soutirage reliée au moyen de récupération de la solution aqueuse 25, et un réservoir tampon installé entre le moyen de récupération de la solution aqueuse 25 et la pompe de soutirage.

[0035] - la ligne d'acheminement supérieure 21 et le réservoir tampon sont reliés fluidiquement par un tronçon T de manière à permettre un passage d'un reliquat d'hydrogène du réservoir tampon vers la ligne d'acheminement supérieure 21. En effet, dans le cas où il resterait quelques bulles d'hydrogène dans la solution aqueuse soutirée, ces quelques bulles viendraient se coller dans la partie supérieure de la paroi interne du réservoir tampon avant de rejoindre la ligne d'acheminement supérieure 21 par le biais du tronçon T. A noter que cet acheminement du reliquat d'hydrogène vers la ligne d'acheminement supérieure 21 pourra se faire en continu ou par intermittence au moyen d'une vanne de contrôle commandée automatiquement et placée sur le tronçon T ; Une tête de séparateur pourra être placée entre le réservoir tampon et le tronçon T afin de faciliter la remontée des bulles d'hydrogène.

[0036] - le moyen de récupération du flux de solution aqueuse 25 est associé à un briseur de vortex;

[0037] - l'installation comprend au moins un moyen de contrôle du niveau de solution aqueuse dans la ligne d'acheminement inférieure 22 et/ou dans le réservoir tampon ;

[0038] - l'installation comprend un seul dispositif de séparation de gaz-liquide 8 et n lignes configurées pour fournir le mélange hydrogène – solution aqueuse généré par les n électrolyseurs 4 au dispositif de séparation gaz-liquide 8. Notons qu'une ou plusieurs conduites pourront récupérer le flux des n lignes raccordées aux n électrolyseurs avant de l'envoyer au dispositif de séparation gaz-liquide 8 par souci de mutualisation ;

[0039] - les lignes d'acheminement 21 et 22 présentent une longueur exprimée en mètre comprise entre 0.2 et 2 fois la capacité globale des n électrolyseurs exprimée en MW, de préférence comprise entre 0.5 et 1.5 fois la capacité globale des n électrolyseurs exprimée en MW; Notons que ces longueurs s'appliquent en particulier au cas où les électrolyseurs sont de type alcalin ;

[0040] - le dispositif de séparation gaz-liquide 8 présente un inventaire H en hydrogène inférieur ou égal à $0.5nh$ avec :

[0041] - n le nombre d'électrolyseurs 4 et,

- [0042] - h l'inventaire en hydrogène dans chaque dispositif de séparation gaz-liquide configuré pour éliminer la solution aqueuse contenue dans le mélange hydrogène-solution aqueuse, pour une installation de capacité similaire à l'installation selon l'invention et comprenant n électrolyseurs associés en série à n dispositifs de séparation gaz-liquide de forme ballon configurés pour éliminer la solution aqueuse contenue dans le mélange hydrogène-solution aqueuse ;
- [0043] par « inventaire » on entend le volume maximum d'hydrogène présent à chaque instant t dans le dispositif de séparation gaz-liquide ; il s'exprime généralement en m³ (mètre cube)
- [0044] - le dispositif de séparation gaz-liquide 8 est en matériau choisi parmi l'acier carbone, l'acier inoxydable, l'acier duplex, le nickel, le nickel autocatalytique, l'acier carbone avec revêtement nickel ou le plastique à renfort de verre avec liner (en anglais GRP : glass reinforced plastic); Notons que le dispositif de séparation gaz-liquide pourra également présenté un revêtement de type plastique polymère tel que PTFE (Polytétrafluoroéthylène) ou équivalent ; Le dispositif de séparation gaz-liquide pourra également être au moins en partie calorifugé.
- [0045] - la série de n électrolyseurs est comprise dans au moins un bâtiment B fermé ou semi-fermé et le dispositif de séparation gaz-liquide 8 est situé à l'extérieur de ce bâtiment B ; la taille du bâtiment B est ainsi réduite ;
- [0046] - les lignes, et de préférence les vannes associées, sont situées au moins en grande partie à l'extérieur du bâtiment B ; ceci permet également de réduire la taille du bâtiment B et de limiter les risques de fuite d'hydrogène dans le bâtiment B. Par ailleurs en plaçant les vannes à l'extérieur du bâtiment B on facilite leur accessibilité.
- [0047] - l'installation comprend des supports de canalisation 26 constitués d'une série de poutres transversales qui s'étendent sur toute la longueur du dispositif de séparation gaz-liquide et qui sont reliées à des entretoises longitudinales ; ces supports de canalisation pourront être appelés communément « piperack » ; La hauteur du piperack sera de préférence supérieure à 3 mètres ;
- [0048] - l'installation comprend un refroidisseur 10 configuré pour refroidir l'hydrogène 9 sortant du dispositif de séparation gaz-liquide 8 ;
- [0049] - autrement dit un seul refroidisseur est associé à l'unique dispositif de séparation gaz-liquide 8 ; le refroidisseur peut être un refroidisseur de gaz à effet Peltier, mais plus généralement un échangeur à plaques ou un échangeur tubulaire.
- [0050] - L'installation comprend une unité de purification 11 du flux d'hydrogène sortant du refroidisseur 10 ; Les impuretés à éliminer sont l'oxygène et l'eau principalement, ainsi que quelques traces de sels...L'unité de purification 11 pourra être choisie parmi : une unité de lavage à l'eau permettant d'éliminer les sels (par exemple l'hydroxyde de potassium), un refroidisseur couplé ou non à l'unité de lavage à l'eau et

permettant de refroidir le flux à une température comprise entre 30 et 40°C, une unité de désoxygénation catalytique, et une unité de séchage (par exemple un séchage par refroidissement permettant de refroidir le flux à une température comprise entre 5 et 10°C ou séchage sur tamis moléculaire). De préférence, ces différentes unités seront ajoutées en série à l'installation. A noter que l'eau récupérée en sortie de séchage pourra être recyclée dans la série de n électrolyseurs. Une unité d'analyse pourra être placée en aval de cette(ces) unité(s) de purification afin de vérifier la concentration résiduelle en impuretés dans le flux d'hydrogène.

- [0051] - l'installation comprend une unité de compression du flux d'hydrogène en aval de l'unité de purification 11. Le type de compresseur peut être alternatif, centrifuge ou à membrane principalement; A noter qu'une unité de compression peut également être placée en amont de l'unité de purification 11 ;
- [0052] - l'installation comprend un mélangeur statique configuré pour homogénéiser le mélange hydrogène-solution aqueuse 5 en amont du dispositif de séparation gaz-liquide 8.
- [0053] La présente invention a également pour objet un procédé de production d'hydrogène mettant en œuvre une installation selon l'invention et comprenant :
- [0054] a) Une étape d'électrolyse de l'eau pour générer un mélange hydrogène-solution aqueuse 5 à l'aide une série de n électrolyseurs 4 présentant une capacité globale supérieure à 40 MW,
- [0055] b) Une étape d'acheminement de l'hydrogène et de la solution aqueuse, générés à l'étape a), aux moyens de récupération du flux d'hydrogène et du flux de solution aqueuse 24 et 25, et
- [0056] c) Une étape de séparation gaz-liquide permettant d'éliminer la solution aqueuse contenue dans mélange hydrogène-solution aqueuse 5 généré à l'étape a), au moyen du dispositif de séparation gaz-liquide 8, de manière à fournir un flux d'hydrogène et un flux de solution aqueuse ;
- [0057] Avec l'étape d'acheminement et l'étape de séparation étant conjointes.
- [0058] Selon le cas, le procédé selon l'invention peut présenter une ou plusieurs des caractéristiques ci-dessous :
- [0059] - l'étape c) comprend une sous-étape d'alimentation d'une des deux lignes d'acheminement 21 et 22 du dispositif de séparation gaz-liquide 8 avec le mélange hydrogène-solution aqueuse.
- [0060] - l'étape b) comprend une sous-étape de récupération du flux d'hydrogène à au moins un point de la ligne d'acheminement supérieure 21 et une sous-étape de récupération du flux de solution aqueuse à au moins un point de la ligne d'acheminement inférieure 22.
- [0061] - l'étape c) est réalisée à une température comprise entre 60 et 100°C.

- [0062] - l'étape c) est réalisée à une pression comprise entre 1 et 40 bar.
- [0063] - Le procédé comprend une étape d) de refroidissement de l'hydrogène issu de l'étape c) à une température comprise entre 30 et 40°C.
- [0064] - Le procédé comprend une étape e) de purification de l'hydrogène refroidi à l'étape d).
- [0065] - Le procédé comprend une étape f) de compression de l'hydrogène issu de l'étape e) à une pression supérieure à la pression du dispositif de séparation gaz-liquide 8, de préférence à une pression comprise entre 20 et 60 bar. En fonction des usages et notamment des applications de mobilité, une étape de compression à plusieurs centaines de bar est nécessaire.
- [0066] De l'oxygène étant également généré à l'étape a), le procédé selon l'invention comprendra de préférence une étape d'acheminement de l'oxygène et de la solution aqueuse, générés à l'étape a), aux moyens de récupération du flux d'oxygène et du flux de solution aqueuse et une étape de séparation gaz-liquide permettant d'éliminer la solution aqueuse contenue dans mélange oxygène-solution aqueuse 6 généré à l'étape a), au moyen du deuxième dispositif de séparation gaz-liquide, de manière à fournir un flux d'oxygène et un flux de solution aqueuse, l'étape d'acheminement de l'oxygène et l'étape de séparation oxygène- solution aqueuse étant conjointes.
- [0067] Comme indiqué précédemment, l'oxygène 15 récupéré en sortie du deuxième dispositif de séparation gaz-liquide sera ensuite refroidi dans le refroidisseur 16 à une température comprise entre 30 et 40°C, puis collecté dans un système de collecte 19 ou sera plus généralement envoyé à l'atmosphère.
- [0068] Avantagusement, le procédé selon l'invention comprendra une étape de recyclage des solutions aqueuses issues des dispositifs de séparation gaz-liquide 8 et 14 vers les électrolyseurs 4, de préférence après refroidissement des solutions aqueuses à une température comprise entre 50 et 80°C, encore plus préférentiellement à une température comprise entre 60 et 70°C.
- [0069] Autrement dit, si on ne tient pas compte des éventuels refroidisseurs qui pourraient être utilisés à l'étape de purification 11, l'installation comprend non pas 3n refroidisseurs comme cela est enseigné dans l'art antérieur mais uniquement trois refroidisseurs :
- [0070] - un refroidisseur 10 configuré pour refroidir l'hydrogène 9 sortant du dispositif de séparation gaz-liquide 8 ;
- [0071] - un refroidisseur 16 configuré pour refroidir l'oxygène 15 sortant du dispositif de séparation gaz-liquide 14 ; et
- [0072] - un refroidisseur configuré pour refroidir les solutions aqueuses issues des dispositifs de séparation gaz-liquide 8 et 14.
- [0073] L'installation va à présent être décrite plus en détail à l'aide des figures 1 à 4.

- [0074] La [Fig.1] illustre le fonctionnement général de l'installation selon l'invention.
- [0075] L'eau 1 provenant d'une alimentation ou d'un réservoir de stockage 2 est introduite dans une unité de traitement d'eau 3 (par traitement d'eau on entend préférentiellement une déminéralisation et une déionisation). L'eau purifiée est ensuite injectée dans le circuit de solution aqueuse pour être ensuite électrolysée dans une série de n électrolyseurs 4 (stacks), ladite série présentant une capacité globale supérieure à 40 MW. En sortant de la série de n électrolyseurs 4, un mélange hydrogène-solution aqueuse 5 et un mélange oxygène-solution aqueuse 6 sont récupérés. Le mélange hydrogène-solution aqueuse 5 alimente le premier dispositif de séparation gaz-liquide 8 configuré pour éliminer la solution aqueuse contenue dans le mélange hydrogène-solution aqueuse 5 généré par la série de n électrolyseurs 4. Le flux d'hydrogène 9 sortant du dispositif de séparation gaz-liquide 8 est saturé en eau. Le flux d'hydrogène 9 est généralement refroidi à une température comprise entre 40 et 30°C dans un refroidisseur 10 avant d'être introduit dans une unité de purification 11. Le flux d'hydrogène 12 sortant de l'unité de purification 11 présente une pureté supérieure à 99,99%, de préférence supérieure à 99,999%. Le flux d'hydrogène 12 pourra éventuellement être comprimé à une pression supérieure à celle d'entrée dans l'unité de purification 11, de préférence supérieure à 15 bar avant d'être stocké 18 ou acheminé dans un circuit d'extraction.
- [0076] Le mélange oxygène-solution aqueuse 6 alimente quant à lui le second dispositif de séparation gaz-liquide 14 configuré pour éliminer la solution aqueuse contenue dans le mélange oxygène-solution aqueuse 6 généré par la série de n électrolyseurs 4. Le flux d'oxygène 15 sortant du second dispositif de séparation gaz-liquide 14 est saturé en eau. Le flux d'oxygène 15 est refroidi à une température comprise entre 40 et 30°C dans un refroidisseur 16. Le flux d'oxygène 17 sortant du refroidisseur 16 présente une pureté supérieure à 98 %, de préférence supérieure à 99% ; il sera stocké dans un système de collecte 19 ou acheminé vers un circuit d'extraction.
- [0077] La [Fig.1] n'illustre pas les caractéristiques des dispositifs de séparation gaz-liquide implémentés dans l'installation selon l'invention. En effet, lesdits dispositifs sont décrits plus en détail à l'aide des figures 2 à 4.
- [0078] La [Fig.2] illustre spécifiquement la première variante de l'installation selon l'invention. Dans cette première variante, l'installation comprend deux dispositifs de séparation gaz-liquide 8 configurés pour éliminer la solution aqueuse contenue dans le mélange hydrogène-solution aqueuse 5 généré par la série de n électrolyseurs 4 ; n étant égal à 12 dans l'exemple de la [Fig.2]. Chaque paire d'électrolyseurs 4 de la série de n électrolyseurs (à noter qu'il pourrait être question non pas de paires d'électrolyseurs mais typiquement de groupements d'électrolyseurs comprenant entre 2 et 4 électrolyseurs) fournit deux flux de mélanges hydrogène-solution aqueuse 5 qui sont réunis dans une seule conduite 27 qui est raccordée fluidiquement à une des deux

lignes d'acheminement d'un des deux dispositifs de séparation gaz-liquide 8. Avantageusement les dispositifs de séparation gaz-liquide 8 sont supportés par un piperack 26. Le flux d'hydrogène est récupéré à un ou plusieurs points de soutirage situé(s) sur les deux lignes d'acheminement supérieures des deux dispositifs de séparation gaz-liquide 8 et le flux de solution aqueuse est récupéré à un ou plusieurs points de soutirage sur les deux lignes d'acheminement inférieures des deux dispositifs de séparation gaz-liquide 8. A noter que même si la [Fig.2] ne représente pas la partie de l'installation relative à l'oxygène par souci de simplicité, des équipements similaires sont présents pour la partie oxygène : ainsi on aura notamment deux dispositifs de séparation gaz-liquide 14 configurés pour éliminer la solution aqueuse contenue dans le mélange oxygène-solution aqueuse 6 généré par la série de n électrolyseurs 4.

[0079] La [Fig.3] illustre spécifiquement la deuxième variante de l'installation selon l'invention. Dans cette deuxième variante, l'installation comprend un dispositif de séparation gaz-liquide 8 configurés pour éliminer la solution aqueuse contenue dans le mélange hydrogène-solution aqueuse 5, par paire d'électrolyseurs de la série de n électrolyseurs (à noter qu'il pourrait être question non pas de paire d'électrolyseurs mais typiquement de groupements d'électrolyseurs comprenant entre 2 et 4 électrolyseurs). n étant égal à 12 dans l'exemple de la [Fig.3], dans cette exemple on aura 6 dispositifs de séparation gaz-liquide 8. Chaque paire d'électrolyseurs 4 de la série de n électrolyseurs fournit deux flux de mélanges hydrogène-solution aqueuse 5 qui alimentent une des deux lignes d'acheminement d'un des deux dispositifs de séparation gaz-liquide 8. A noter que dans cette deuxième variante chaque dispositif de séparation gaz-liquide sera soutenu par son propre piperack. Un flux d'hydrogène est récupéré à un ou plusieurs points de soutirage situé sur chaque ligne d'acheminement supérieure des dispositifs de séparation gaz-liquide 8 et envoyé dans un moyen de récupération 24 qui dans cette deuxième variante sera une première conduite de collecte. De même un flux de solution aqueuse est récupéré à un ou plusieurs points de soutirage situé sur chaque ligne d'acheminement inférieure des dispositifs de séparation gaz-liquide 8 et envoyé dans un moyen de récupération 25 qui dans cette deuxième variante sera une deuxième conduite de collecte. A noter que même si la [Fig.3] ne représente pas la partie de l'installation relative à l'oxygène par souci de simplicité, des équipements similaires sont présents pour la partie oxygène : ainsi on aura notamment un dispositif de séparation gaz-liquide 14 configurés pour éliminer la solution aqueuse contenue dans le mélange oxygène-solution aqueuse 6 par paire d'électrolyseurs de la série de n électrolyseurs). n étant égal à 12 dans l'exemple de la [Fig.3], dans cette exemple on aura 6 dispositifs de séparation gaz-liquide 14. Un flux d'oxygène est récupéré à un ou plusieurs points de soutirage situés sur chaque ligne d'acheminement supérieure des dispositifs de séparation gaz-liquide 14 et envoyé dans un moyen de récupération qui

dans cette deuxième variante sera une troisième conduite de collecte. Le flux de solution aqueuse récupéré, quant à lui, à un ou plusieurs points de soutirage situés sur chaque ligne d'acheminement inférieure des dispositifs de séparation gaz-liquide 14 est envoyé dans la deuxième conduite de collecte ou dans une quatrième conduite de collecte.

[0080] La [Fig.4] illustre différents types de dispositifs de séparation gaz-liquide pouvant être mis en œuvre dans le cadre de l'invention. Dans le cas A la ligne d'acheminement inférieure 22 est parallèle au sol de l'installation et la ligne d'acheminement supérieure 21 est positionnée de manière à former un angle α avec la ligne d'acheminement inférieure 22. Dans le cas B, la ligne d'acheminement inférieure 22 forme un angle β avec un axe horizontal parallèle au sol et la ligne d'acheminement supérieure 21 est positionnée de manière à former un angle α avec la ligne d'acheminement inférieure 22. A noter que β peut être compris entre 0 et 20°, de préférence entre 0 et 5°. Dans le cas C, les deux lignes d'acheminement 21 et 22 sont parallèles au sol de l'installation. Dans les trois cas les flèches montrent la direction des flux. On voit clairement que les tronçons voient deux flux : un flux ascendant d'hydrogène (ou d'oxygène s'il s'agit d'un dispositif de séparation gaz-liquide configuré pour séparer l'oxygène de la solution aqueuse) et un flux descendant de solution aqueuse.

[0081] Enfin, la présente invention a également pour objet un procédé de fabrication de l'installation de production d'hydrogène selon l'invention, caractérisé en ce qu'il comprend une étape d'installation des électrolyseurs dans au moins un bâtiment B et une étape de fabrication, sur site ou par assemblage modulaire, du dispositif de séparation gaz-liquide 8 à l'extérieur du bâtiment B. Par « fabrication sur site » on entend que le dispositif de séparation gaz-liquide peut être fabriqué par assemblage de tous les équipements sur site par opposition à un « assemblage modulaire » qui correspond à la mise en place d'un ou plusieurs skids, fabriqués à l'extérieur du site. En cas d'assemblage on préférera l'assemblage de modules comprenant entre 10 et 14 m de longueur de lignes d'acheminement. A noter que « par fabrication à l'extérieur » on entend une fabrication sur site en dehors du ou des bâtiments B.

[0082] La solution selon l'invention, en combinant l'acheminement du flux d'hydrogène et sa séparation avec la solution aqueuse permet de limiter les lieux où le gaz reste statique et limite ainsi les risques HSE.

[0083] Par ailleurs, la taille de l'installation et le coût de l'installation sont également minimisés par la diminution du nombre d'équipements : aucun ballon de séparation gaz-liquide (hormis le réservoir tampon qui peut être éventuellement considéré comme un ballon séparateur, mais celui-ci comprendra au plus quelques bulles d'hydrogène et sera ainsi presque entièrement rempli de solution aqueuse), une combinaison de l'acheminement des flux avec les séparations gaz-liquide, au plus un dispositif de sé-

paration gaz-liquide 8 configuré pour éliminer la solution aqueuse contenue dans le mélange hydrogène-solution aqueuse 5 pour deux électrolyseurs, au plus un dispositif de séparation gaz-liquide 14 configuré pour éliminer la solution aqueuse contenue dans le mélange oxygène-solution aqueuse 6 pour deux électrolyseurs, seulement trois refroidisseurs (le refroidisseur 10 configuré pour refroidir l'hydrogène 9 sortant du dispositif de séparation gaz-liquide 8, le refroidisseur 16 configuré pour refroidir l'oxygène 15 sortant du dispositif de séparation gaz-liquide 14 et le refroidisseur de la boucle de recyclage de la solution aqueuse), un nombre de pompes qui a été divisé par 5 comparé aux installations de l'art antérieur. Par « installations de l'art antérieur » on entend des installations qui comprennent n électrolyseurs, n dispositifs de séparation gaz-liquide configuré pour éliminer la solution aqueuse contenue dans le mélange hydrogène-solution aqueuse, n dispositifs de séparation gaz-liquide configuré pour éliminer la solution aqueuse contenue dans le mélange oxygène-solution aqueuse, 3n refroidisseurs, ainsi que le nombre associé de pompes (typiquement une quinzaine) et de tuyauteries. Aussi, si on comptabilise le nombre total d'équipements on remarque que celui-ci a été divisé au moins par trois dans l'installation selon l'invention. De là, comparé à une installation selon l'art antérieur l'installation selon l'invention présente un bâtiment B dont la hauteur a été réduite d'au moins 25%, et dont l'empreinte au sol a été divisée entre 2 et 5 fois. Ceci a notamment pour conséquence un renouvellement d'air du bâtiment facilité. Concernant l'empreinte globale au sol (empreinte au sol du bâtiment et des autres équipements dont les dispositifs de séparation gaz-liquide) celle-ci a été également réduite de 10 à 30%.

- [0084] Autrement dit, la solution selon l'invention permet de :
- [0085] - réduire le nombre d'équipements ;
- [0086] - limiter les risques HSE (Hygiène – Sécurité – Environnement) en diminuant les dispositifs accumulant l'hydrogène ;
- [0087] - réduire la taille de l'installation et de l'occupation au sol. En effet, en réduisant le nombre d'équipements, les distances de sécurité sont également réduites ; et
- [0088] - réduire le coût de l'installation.

Revendications

- [Revendication 1] Installation de production d'hydrogène comprenant :
- Une série de n électrolyseurs (4) configurés pour électrolyser l'eau (1) et générer un mélange hydrogène-solution aqueuse (5), ladite série présentant une capacité globale supérieure à 40 MW,
 - Au moins un dispositif de séparation gaz-liquide (8) configuré pour éliminer la solution aqueuse contenue dans le mélange hydrogène-solution aqueuse (5) généré par la série de n électrolyseurs (4), et produire un flux d'hydrogène (9),
 - Un moyen de récupération d'un flux d'hydrogène (24),
 - Un moyen de récupération d'un flux de solution aqueuse (25),
- Avec ledit dispositif de séparation gaz-liquide (8) comprenant deux lignes d'acheminement de flux – une ligne d'acheminement supérieure (21) et une ligne d'acheminement inférieure (22) - disposées l'une au-dessus de l'autre, avec la ligne d'acheminement supérieure (21) raccordée fluidiquement au moyen de récupération du flux d'hydrogène (24) et la ligne d'acheminement inférieure (22) raccordée fluidiquement au moyen de récupération du flux de solution aqueuse (25); l'une et/ou l'autre des deux lignes d'acheminement étant alimentées par le mélange hydrogène - solution aqueuse (5) et les deux lignes d'acheminement (21) et (22) étant reliées fluidiquement l'une à l'autre par un ou plusieurs tronçons (23) de manière à permettre un passage de l'hydrogène de la ligne inférieure (22) à la ligne supérieure (21) et/ou un passage de la solution aqueuse de la ligne supérieure (21) à la ligne inférieure (22).
- [Revendication 2] Installation de production d'hydrogène selon la revendication 1, caractérisée en ce que les deux lignes d'acheminement (21) et (22) sont en tous points séparées l'une de l'autre d'une distance minimale comprise entre 0,1 et 10 m, de préférence entre 0,5 et 1,5 m.
- [Revendication 3] Installation de production d'hydrogène selon la revendication 2, caractérisée en ce que les deux lignes d'acheminement (21) et (22) forment un angle (α) compris entre 0 et 45°, de préférence entre 0 et 10°.
- [Revendication 4] Installation de production d'hydrogène selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que les tronçons (23) sont séparés les uns des autres d'une distance comprise entre 1 et 5 m, de préférence comprise entre 2 et 3 m.
- [Revendication 5] Installation de production d'hydrogène selon l'une des revendications 1

à 4, caractérisée en ce que les deux lignes d'acheminement (21) et (22) présentent un diamètre exprimé en millimètre compris entre 1 et 20 fois la capacité globale des électrolyseurs (4) exprimée en MW, de préférence compris entre 3 et 15 fois la capacité globale des électrolyseurs (4) exprimée en MW, et les tronçons (23) présentent un diamètre exprimé en millimètre compris entre 0.1 et 5 fois la capacité globale des électrolyseurs (4) exprimée en MW, de préférence compris entre 0.5 et 2 fois la capacité globale des électrolyseurs (4) exprimée en MW.

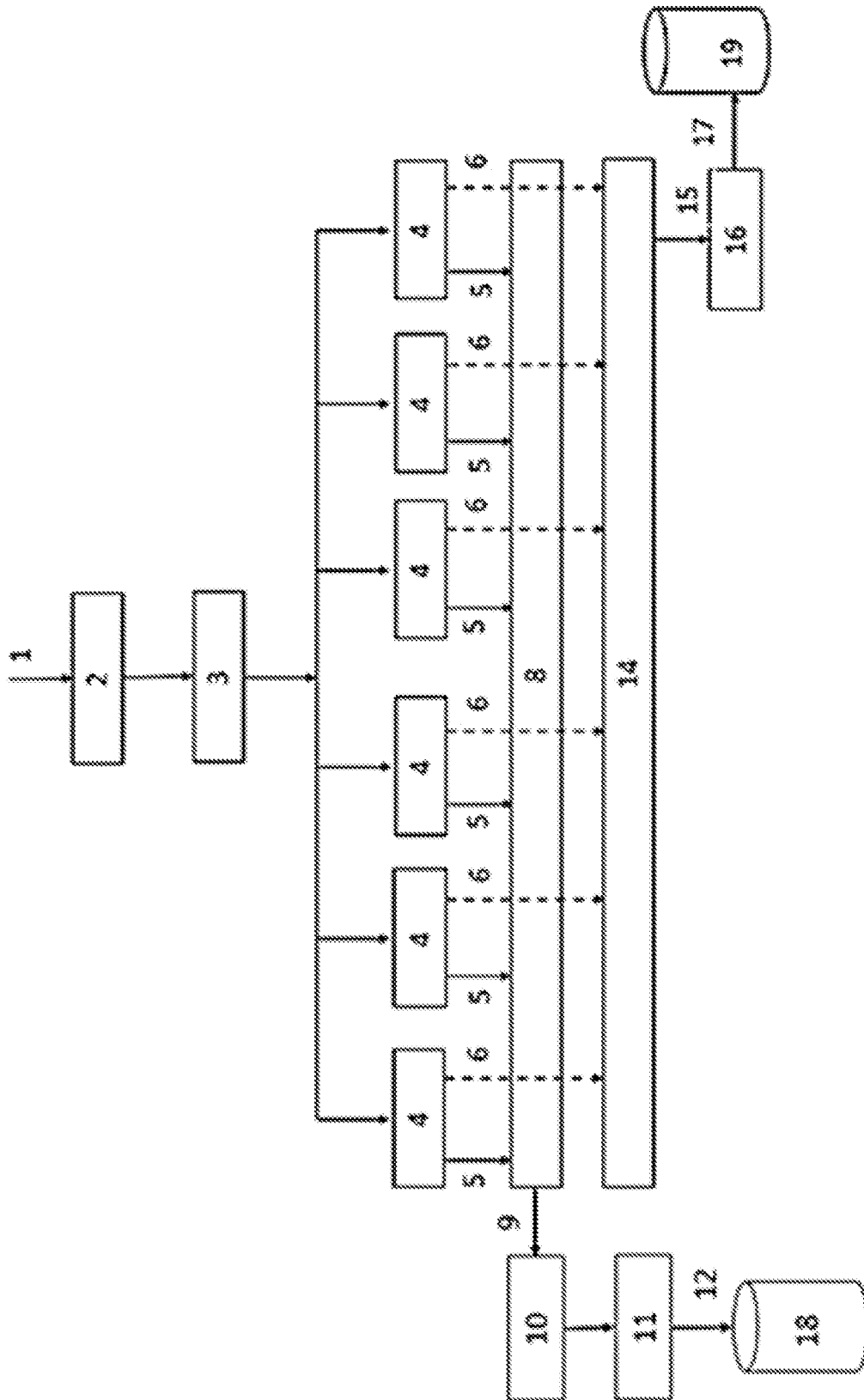
- [Revendication 6] Installation de production d'hydrogène selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisée en ce qu'elle comprend une pompe de soutirage reliée au moyen de récupération de la solution aqueuse (25), et un réservoir tampon installé entre le moyen de récupération de la solution aqueuse (25) et la pompe de soutirage.
- [Revendication 7] Installation de production d'hydrogène selon la revendication 6, caractérisée en ce que la ligne d'acheminement supérieure (21) et le réservoir tampon sont reliés fluidiquement par un tronçon T de manière à permettre un passage d'un reliquat d'hydrogène du réservoir tampon vers la ligne d'acheminement supérieure (21).
- [Revendication 8] Installation de production d'hydrogène selon la revendication 7, caractérisée en ce que les lignes d'acheminement (21) et (22) présentent une longueur exprimée en mètre comprise entre 0.2 et 2 fois la capacité globale des électrolyseurs (4) exprimée en MW, de préférence comprise entre 0.5 et 1.5 fois la capacité globale des électrolyseurs (4) exprimée en MW.
- [Revendication 9] Installation selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisée en ce que le dispositif de séparation gaz-liquide (8) présente un inventaire H en hydrogène inférieur ou égal à $0.5nh$ avec :
- n le nombre d'électrolyseurs (4) et,
 - h l'inventaire en hydrogène dans chaque dispositif de séparation gaz-liquide configuré pour éliminer la solution aqueuse contenue dans le mélange hydrogène-solution aqueuse, pour une installation de capacité similaire à l'installation selon l'invention et comprenant n électrolyseurs associés en série à n dispositifs de séparation gaz-liquide de forme ballon configurés pour éliminer la solution aqueuse contenue dans le mélange hydrogène-solution aqueuse.
- [Revendication 10] Installation selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que le dispositif de séparation gaz-liquide (8) est en matériau choisi parmi

l'acier carbone, l'acier inoxydable, l'acier duplex, le nickel, le nickel autocatalytique, l'acier carbone avec revêtement nickel ou le plastique à renfort de verre avec liner (GRP).

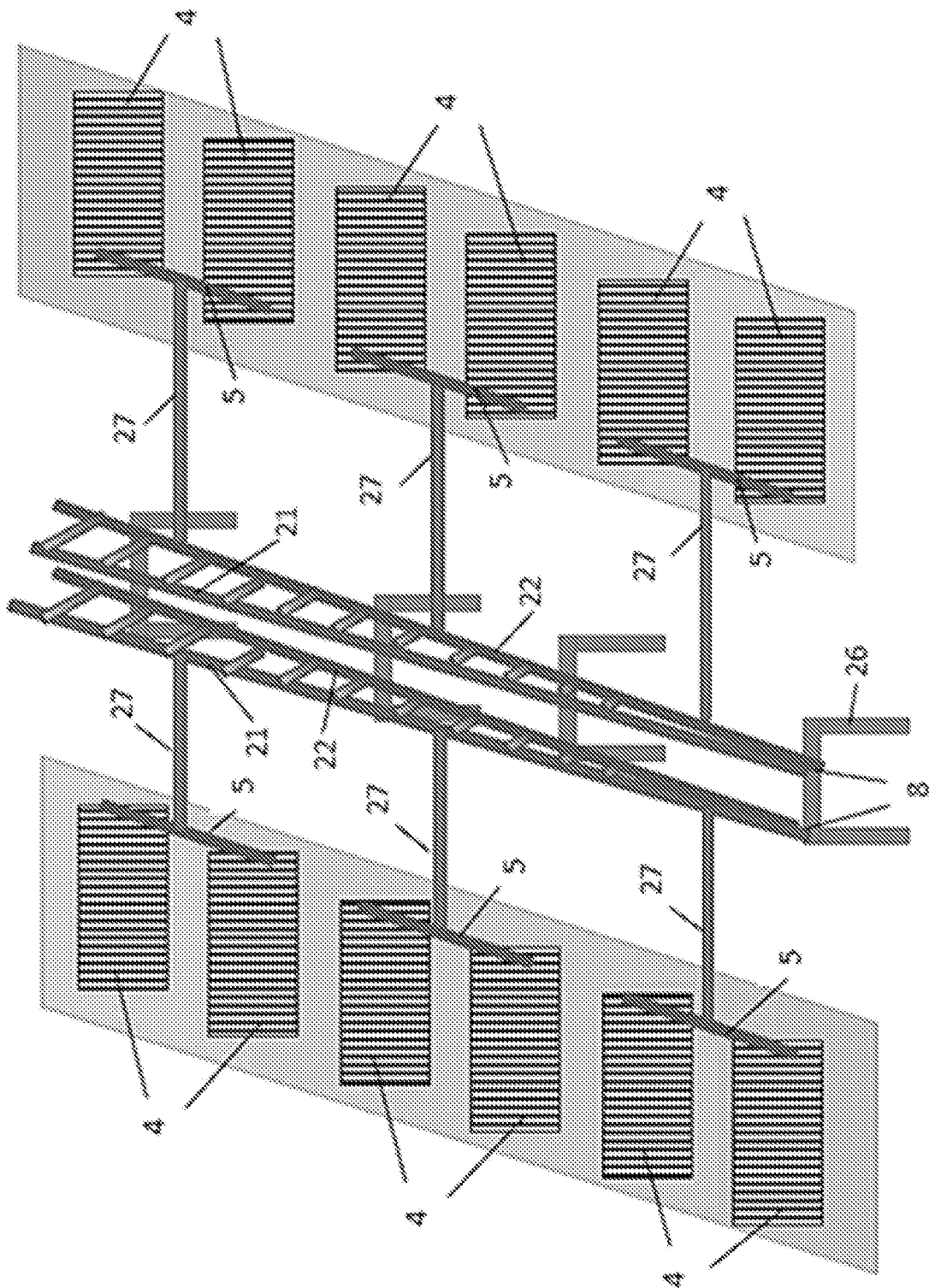
- [Revendication 11] Installation selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisée en ce que la série de n électrolyseurs (4) est comprise dans au moins un bâtiment B fermé et le dispositif de séparation gaz-liquide (8) est situé à l'extérieur de ce bâtiment B.
- [Revendication 12] Installation selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisée en ce qu'elle comprend un refroidisseur (10) configuré pour refroidir l'hydrogène (9) sortant du dispositif de séparation gaz-liquide (8).
- [Revendication 13] Procédé de production d'hydrogène mettant en œuvre une installation telle que définie dans l'une des revendications 1 à 12 et comprenant :
- a) Une étape d'électrolyse de l'eau pour générer un mélange hydrogène-solution aqueuse (5) à l'aide une série de n électrolyseurs (4) présentant une capacité globale supérieure à 40 MW,
 - b) Une étape d'acheminement de l'hydrogène et de la solution aqueuse, générés à l'étape a), aux moyens de récupération du flux d'hydrogène et du flux de solution aqueuse (24) et (25), et
 - c) Une étape de séparation gaz-liquide permettant d'éliminer la solution aqueuse contenue dans mélange hydrogène-solution aqueuse (5) généré à l'étape a), au moyen du dispositif de séparation gaz-liquide (8), de manière à fournir un flux d'hydrogène et un flux de solution aqueuse ; Avec l'étape d'acheminement et l'étape de séparation étant conjointes.
- [Revendication 14] Procédé de production d'hydrogène selon la revendication 13, caractérisé en ce que l'étape c) comprend une sous-étape d'alimentation d'au moins une des deux lignes d'acheminement (21) et (22) du dispositif de séparation gaz-liquide (8) avec le mélange hydrogène-solution aqueuse.
- [Revendication 15] Procédé de production d'hydrogène selon l'une des revendications 13 ou 14, caractérisé en ce que l'étape b) comprend une sous-étape de récupération du flux d'hydrogène à au moins un point de la ligne d'acheminement supérieure (21) et une sous-étape de récupération du flux de solution aqueuse à au moins un point de la ligne d'acheminement inférieure (22).
- [Revendication 16] Procédé de fabrication de l'installation de production d'hydrogène telle que définie dans l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'il comprend une étape d'installation des électrolyseurs dans au moins un bâtiment B et une étape de fabrication, préférentiellement sur site, du

dispositif de séparation gaz-liquide (8) à l'extérieur du bâtiment B.

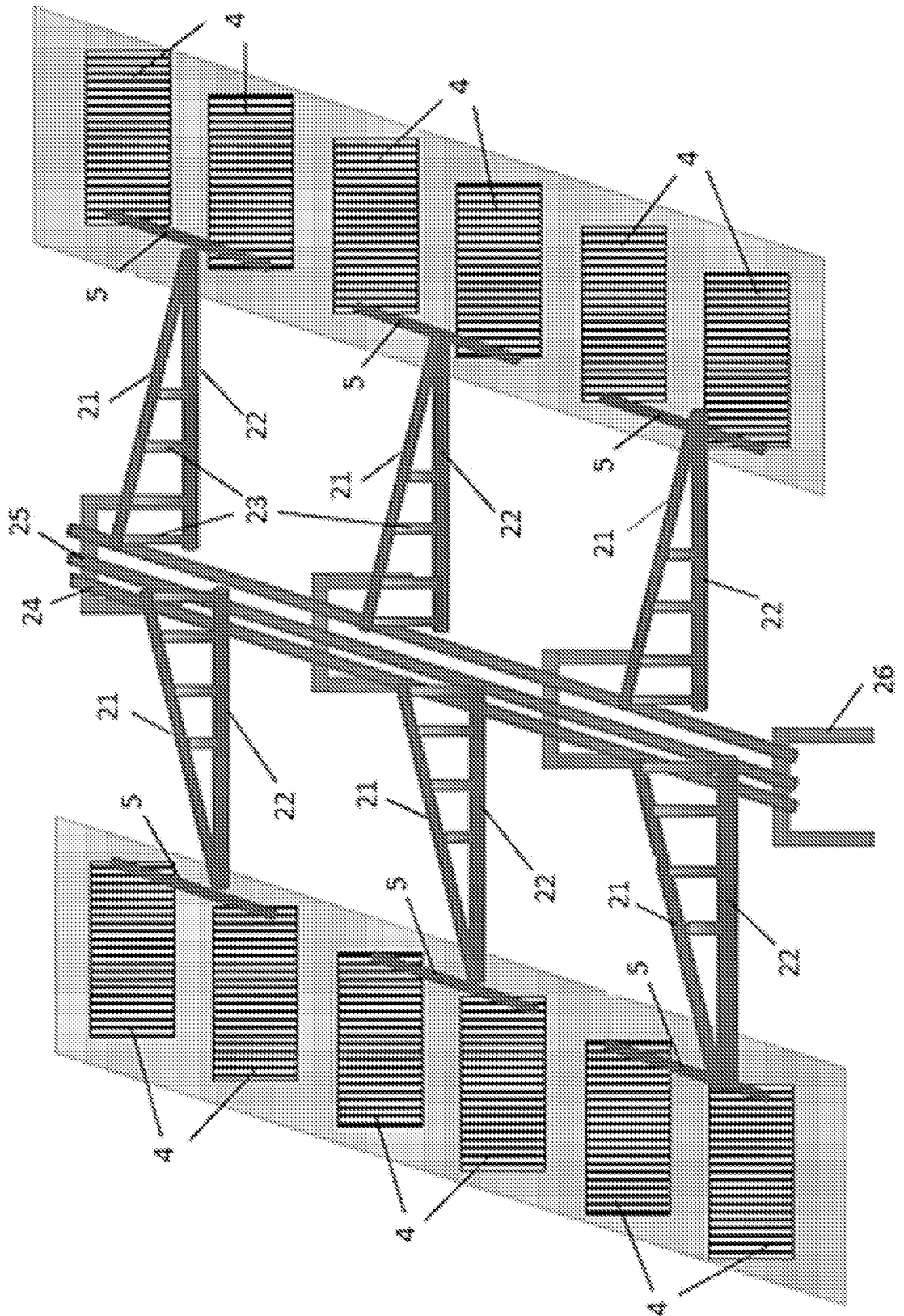
[Fig. 1]



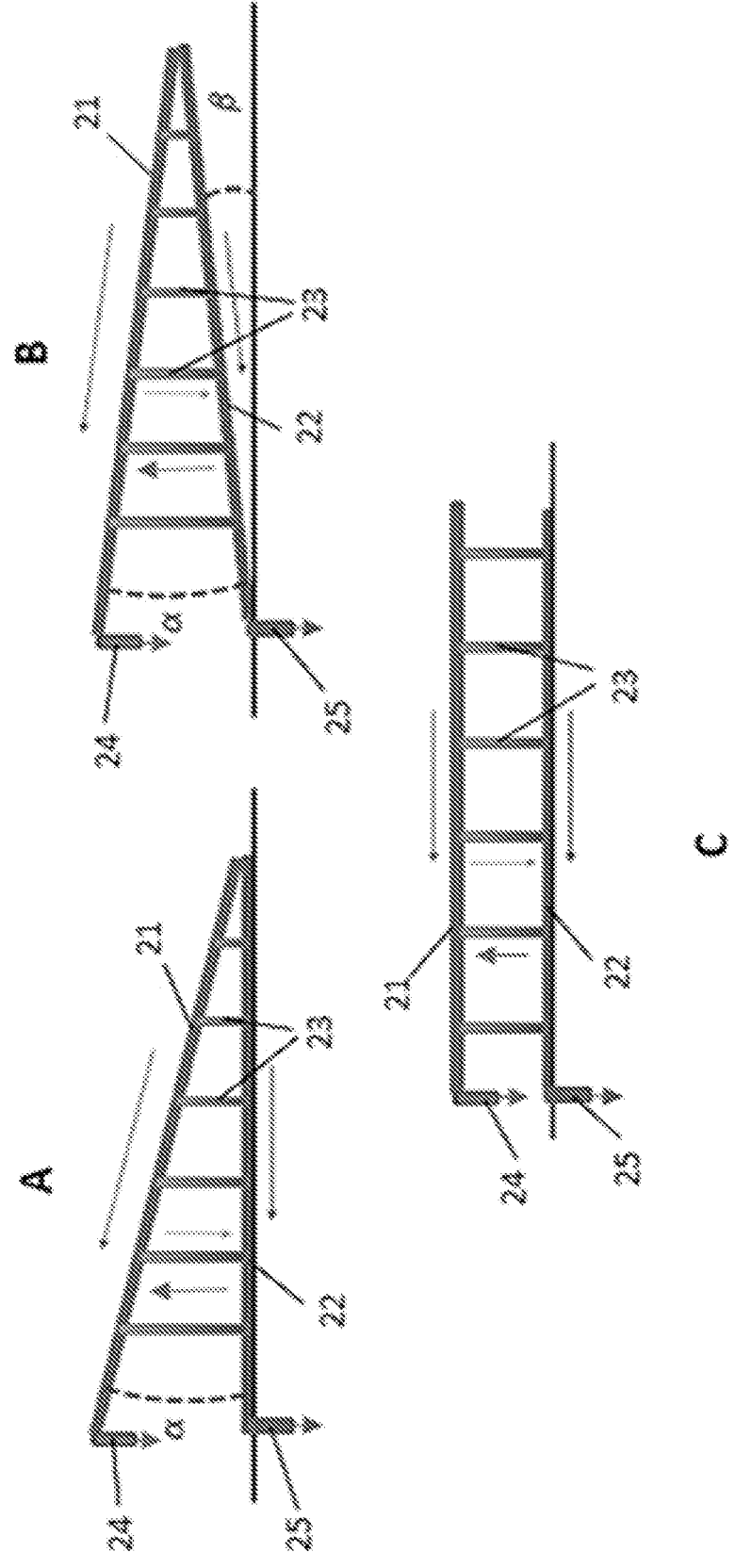
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



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 2021/292919 A1 (PURUCKER THOMAS [DE] ET
AL) 23 septembre 2021 (2021-09-23)

WO 2021/196564 A1 (HUANENG CLEAN ENERGY
RES INST [CN]) 7 octobre 2021 (2021-10-07)

US 2008/134651 A1 (GRAMME PER EIVIND [NO]
ET AL) 12 juin 2008 (2008-06-12)

**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