(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 149 327**

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

(21) **N° d'enregistrement national :** **23 05519**

(51) Int Cl[8] : ***C 25 B 1/044*** *(2023.01)*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 02.06.23.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 06.12.24 Bulletin 24/49.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Se reporter à la fin du présent fascicule*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

( ) **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS Société par actions simplifiée (SAS)* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** DEMOULIN Vincent et ROGEZ Franck.

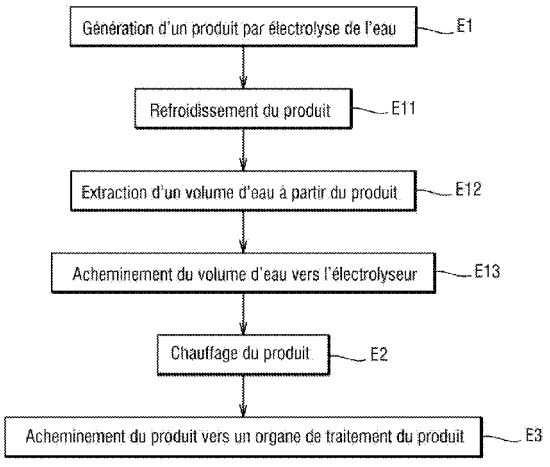
(73) **Titulaire(s) :** VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS Société par actions simplifiée (SAS).

(74) **Mandataire(s) :** REGIMBEAU.

(54) Dispositif de production d'un produit gazeux par électrolyse et procédé associé.

(57) Le présent exposé concerne un procédé de production d'hydrogène et d'oxygène, le procédé comprenant:- une génération (E1), par un électrolyseur (14), d'un produit (13a, 13b) par une électrolyse de l'eau, le produit (13a, 13b) comprenant de l'hydrogène et de l'oxygène, une concentration en volume de l'hydrogène ou de l'oxygène du produit (13a, 13b) étant supérieure ou égale à 95% d'un volume du produit (13a, 13b) ; et- un chauffage (E2) du produit (13a, 13b), par un échangeur de chaleur (151) distinct de l'électrolyseur (14), par un transfert d'une énergie thermique dissipée par l'électrolyse,le chauffage ayant lieu en aval de la génération en référence à un flux du produit (13a, 13b) depuis la génération vers le chauffage.

Figure de l'abrégé : Fig. 6



FR 3 149 327 - A1

Description

Titre de l'invention : Dispositif de production d'un produit gazeux par électrolyse et procédé associé

Domaine technique

[0001] Le présent exposé concerne le domaine de la production d'un produit gazeux. Notamment, il concerne la production d'hydrogène au moyen d'électrolyseurs éloignés des organes de traitement.

ETAT DE LA TECHNIQUE

[0002] On observe actuellement un fort regain d'intérêt pour la production d'hydrogène destiné à servir de source d'énergie, par exemple pour le déplacement de véhicules. On cherche en particulier à produire l'hydrogène par électrolyse de l'eau, l'électrolyseur étant lui-même alimenté en énergie au moyen de technologies basées sur des énergies renouvelables, par exemple l'énergie solaire. Bien que le présent exposé ne soit pas limité à ce contexte, il est particulièrement avantageux dans ce cas.

[0003] Dans certains dispositifs de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau, l'hydrogène sortant d'un électrolyseur est transporté par une canalisation (plus communément appelée selon la terminologie anglosaxonne « pipeline » ou « piping ») jusqu'à un organe de traitement configuré pour traiter l'hydrogène avant son stockage.

[0004] Or, l'hydrogène sortant de l'électrolyseur comprend une quantité élevée d'eau sous forme de vapeur pouvant être le siège de corrosions et d'efforts importants dans le pipeline lorsqu'elle se condense.

EXPOSE GENERAL

[0005] Un but du présent exposé est donc d'améliorer le transport de l'hydrogène dans un pipeline.

[0006] À cet effet, le présent exposé prévoit selon un premier aspect un procédé de production d'hydrogène et d'oxygène, le procédé comprenant :

- une génération, par un électrolyseur, d'un produit par une électrolyse de l'eau, le produit comprenant de l'hydrogène et de l'oxygène, une concentration en volume de l'hydrogène ou de l'oxygène du produit étant supérieure ou égale à 95% d'un volume du produit ; et
- un chauffage du produit, par un échangeur de chaleur distinct de l'électrolyseur, par un transfert d'une énergie thermique dissipée par l'électrolyse,

le chauffage ayant lieu en aval de la génération en référence à un flux du produit depuis la génération vers le chauffage.

[0007] On entend par concentration en volume de l'hydrogène ou de l'oxygène du produit la concentration de ces éléments à l'état pur dans le produit.

[0008] Bien entendu, l'électrolyseur peut générer plusieurs produits, chacun des produits comprenant d'une part de l'hydrogène et d'autre part de l'oxygène. De plus, l'hydrogène ou l'oxygène de chaque produit peut présenter une concentration en volume supérieure ou égale à 95% du volume du produit.

[0009] Il peut être prévu d'effectuer le chauffage du produit au moyen d'une solution d'électrolyte de l'électrolyseur.

[0010] Il peut être prévu que le procédé comprend en outre :

- un refroidissement du produit ;
- une extraction d'un volume d'eau à partir du produit ; et
- un acheminement du volume d'eau vers l'électrolyseur.

[0011] Il peut être prévu en outre d'effectuer le chauffage du produit en aval de l'extraction au moyen du produit en amont de l'extraction, le refroidissement puis la séparation ayant lieu entre la génération et le chauffage en référence au flux du produit depuis la génération vers le chauffage.

[0012] Il peut être prévu que le produit présente, avant le chauffage du produit, une première température et que le produit présente, après le chauffage du produit, une deuxième température, une différence entre la deuxième température et la première température étant comprise entre 22°C et 32°C.

[0013] Il peut être prévu qu'après le chauffage du produit, un taux d'humidité relative du produit est inférieur à 20%.

[0014] Il peut être prévu que le procédé comprend en outre un acheminement du produit vers un organe de traitement du produit, l'acheminement ayant lieu en aval du chauffage.

[0015] Il peut être prévu en outre qu'une température de rosée du produit est supérieure à 2°C à une pression de fonctionnement de l'électrolyseur.

[0016] Il peut être prévu en outre que la concentration en volume de l'oxygène du produit est strictement supérieure à 0,0050% d'un volume d'un mélange sec comprenant l'hydrogène et l'oxygène du produit.

[0017] Le produit présentant les caractéristiques des deux paragraphes précédents correspond à un exemple de produit « brut ». Ainsi, contrairement aux solutions classiques visant à purifier le produit « brut », par exemple par traitement catalytique ou chimique, le chauffage contribue à un traitement du produit en amont du pipeline sans le purifier.

[0018] Le présent exposé prévoit selon un deuxième aspect un produit obtenu au moyen d'un procédé selon le premier aspect.

[0019] Le présent exposé prévoit selon un troisième aspect un dispositif de production d'hydrogène et d'oxygène, le dispositif comprenant :

- un électrolyseur configuré pour générer un produit par une électrolyse de l'eau, le

produit comprenant de l'hydrogène et de l'oxygène, une concentration en volume de l'hydrogène ou de l'oxygène du produit étant supérieure ou égale à 95% d'un volume du produit, et

- un échangeur de chaleur configuré pour chauffer le produit par un transfert d'une énergie thermique dissipée par l'électrolyse,

l'échangeur étant en aval de l'électrolyseur en référence à un flux du produit depuis l'électrolyseur vers l'échangeur.

[0020] Il peut être prévu que l'échangeur comprend en outre :

- un premier circuit configuré pour faire circuler un flux d'une solution d'électrolyte dans l'échangeur ;
- un second circuit configuré pour faire circuler le flux du produit dans l'échangeur ; et
- une surface d'échange configurée pour chauffer le produit par la solution d'électrolyte.

[0021] Il peut être prévu que le dispositif comprend en outre :

- un groupe froid configuré pour refroidir le produit; et
- un séparateur configuré pour extraire un volume d'eau à partir du produit,

le séparateur étant en aval du groupe froid en référence au flux du produit depuis l'électrolyseur vers l'échangeur,

l'échangeur comprenant en outre :

- un premier circuit configuré pour faire circuler le flux du produit en amont du séparateur dans l'échangeur ;
- un second circuit configuré pour faire circuler le flux du produit en aval du séparateur dans l'échangeur ; et
- une surface d'échange thermique configurée pour chauffer le produit en aval du séparateur par le produit en amont du séparateur.

[0022] Il peut être prévu que le dispositif comprend en outre un panneau photovoltaïque configuré pour alimenter l'électrolyseur en courant électrique.

[0023] Il peut aussi comprendre une source d'énergie électrique renouvelable ou non carbonée.

DESCRIPTION DES FIGURES

[0024] D'autres caractéristiques, buts et avantages ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

[0025] - la [Fig.1] est un schéma illustrant un exemple d'électrolyseur ;

[0026] - la [Fig.2] est algorigramme illustrant un exemple d'étapes mises en œuvre par un organe de traitement ;

[0027] - la [Fig.3] est un schéma illustrant un exemple de répartition spatiale d'un dispositif de production d'hydrogène et d'oxygène ;

[0028] - la [Fig.4] et la [Fig.5] sont des schémas illustrant des exemples d'une partie d'un dispositif de production d'hydrogène et d'oxygène ; et

[0029] - la [Fig.6] est un algorigramme illustrant un mode de mise en œuvre d'un procédé de production d'hydrogène et d'oxygène.

DESCRIPTION DETAILLEE

[0030] Un dispositif de production d'hydrogène et d'oxygène est un ensemble configuré pour générer de l'hydrogène et de l'oxygène, voire stocker de l'hydrogène.

[0031] L'hydrogène et l'oxygène sont ici générés par électrolyse de l'eau. Le dispositif comprend alors un électrolyseur configuré pour générer un produit comprenant de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'eau sous l'effet d'un courant continu traversant des électrodes et un électrolyte.

[0032] Par exemple, l'électrolyseur peut être de type « alcalin » dans lequel une solution d'électrolyte comprend de l'hydroxyde de potassium (KOH) ou de l'hydroxyde de sodium (NaOH) et de l'eau, l'électrolyte étant alors liquide, ou de type « à membrane électrolytique polymère » (plus communément appelé "électrolyseur PEM" pour « polymer electrolyte membrane ») dans lequel une solution d'électrolyte comprend de l'eau, l'électrolyte étant alors une membrane solide.

[0033] L'électrolyseur peut comprendre différents organes configurés pour préparer le produit, par exemple un séparateur d'hydrogène, un séparateur d'oxygène, et/ou un ensemble comprenant un échangeur et un séparateur. En l'espèce, l'électrolyseur forme alors un système d'électrolyse configuré pour générer le produit mais aussi pour réaliser une préparation du produit. Bien entendu, le dispositif peut comprendre plusieurs électrolyseurs de même type ou de types différents.

[0034] Le produit sort donc de l'électrolyseur à l'état « brut », c'est-à-dire qu'il peut comprendre de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'eau. L'hydrogène ou l'oxygène peuvent être majoritaires dans le produit, c'est-à-dire qu'une concentration en volume de l'hydrogène ou de l'oxygène du produit est supérieure ou égale à 95% d'un volume du produit.

[0035] Le dispositif comprend en outre une source d'énergie électrique configurée pour alimenter en énergie électrique l'électrolyseur et des moyens d'alimentation en eau de l'électrolyseur. Ainsi, le courant circulant dans les électrodes provient de la source d'énergie électrique qui est reliée électriquement à l'électrolyseur et décompose l'eau issue des moyens d'alimentation. La source d'énergie électrique peut aussi être configurée pour alimenter en énergie électrique plusieurs électrolyseurs en parallèle. Différents montages électriques sont possibles à cette fin que l'homme du métier saura

lui-même prévoir. La source d'énergie électrique peut être continue ou alternative. Dans le cas où elle est continue, elle peut être directement reliée électriquement à l'électrolyseur ou alors un convertisseur statique DC/DC peut être interposé entre la source d'énergie électrique et l'électrolyseur. Dans le cas où elle est alternative, un convertisseur statique de type AC/DC est interposé entre la source d'énergie électrique et l'électrolyseur. On peut également prévoir un convertisseur DC/DC en série avec un convertisseur AC/DC. La source d'énergie électrique peut comprendre un dispositif de conversion, par exemple un panneau photovoltaïque ou une éolienne. Bien entendu, la source d'énergie électrique peut comprendre plusieurs dispositifs de conversion de même type ou être hybride. Elle peut donc comprendre par exemple un groupe de panneaux photovoltaïques, un groupe d'éoliennes, ou une combinaison des deux. Il est entendu par éolienne les éoliennes terrestres et/ou installée en mer (plus communément appelé éoliennes « off-shore »).

[0036] On a représenté à titre d'exemple en [Fig.1] un électrolyseur 14 sous la forme d'un système d'électrolyse. Une pile 141 comprenant les électrodes est alimentée en courant électrique par la source d'énergie électrique 12 et en eau par les moyens 144 d'alimentation en eau. L'eau est décomposée dans la pile 141 et il en résulte en sortie un produit majoritaire en hydrogène 13a et un produit majoritaire en oxygène 13b. Les produits 13a, 13b sont ensuite préparés en traversant le séparateur d'hydrogène 142, le séparateur d'oxygène 143, et un organe 145 comprenant un échangeur et un séparateur et l'eau extraite des organes 145 peut être réinjectée dans la pile (appelée aussi sous la terminologie anglosaxonne « stack ») à travers un conduit 146.

[0037] On peut également prévoir un électrolyseur sous la forme d'un système d'électrolyse comprenant plusieurs piles en parallèle.

[0038] Le produit généré par l'électrolyseur est acheminé vers un organe de traitement configuré pour effectuer le traitement de l'hydrogène ou de l'oxygène du produit et pour éventuellement stocker le produit traité.

[0039] Par exemple, dans le cas où la concentration en volume de l'hydrogène du produit est supérieure ou égale à 95% du volume du produit, le traitement de l'hydrogène du produit est mis en œuvre par l'organe de traitement au moyen d'une séparation avec de l'eau résiduelle 181, d'une désoxygénation 182, d'un séchage 183, d'une compression 184, et d'un stockage de l'hydrogène 185 ([Fig.2]). Le produit « brut » comprenant majoritairement de l'hydrogène est donc purifié par l'organe de traitement avant son stockage.

[0040] Afin d'acheminer le produit de l'électrolyseur jusqu'à l'organe de traitement, le dispositif de production d'hydrogène comprend en outre une canalisation ou « pipeline » ou « piping » configurée pour relier l'électrolyseur à l'organe de traitement. La canalisation peut en outre être configurée pour convoyer le produit de

plusieurs électrolyseurs en parallèle. Elle peut s'étendre sur moins d'un kilomètre jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres, par exemple kilomètres. Elle peut être enterrée ou non. Un matériau de la canalisation peut par exemple être un acier noir, c'est-à-dire un acier non allié. Le dispositif peut comprendre plusieurs canalisations indépendantes ou connectées entre-elles, reliées à un électrolyseur ou à plusieurs électrolyseurs en parallèle.

[0041] Ainsi, le produit sortant de l'électrolyseur est convoyé par la canalisation jusqu'à l'organe de traitement pour être purifié.

[0042] Il est alors possible avec le dispositif d'éloigner l'électrolyseur de l'organe de traitement en augmentant la longueur de la canalisation tout en rapprochant l'électrolyseur de la source d'énergie électrique, réduisant ainsi une longueur des câbles électriques. Le dispositif gagne donc en efficacité car le rapprochement de l'électrolyseur de la source d'énergie électrique a pour effet de limiter les pertes Joule dans les câbles. Le dispositif trouve par exemple son application dans les champs photovoltaïques, éoliens ou hybride, c'est-à-dire des champs comprenant des panneaux photovoltaïques et/ou des éoliennes, dans lequel il a pour effet de diminuer les dépenses d'investissement de 20%. Un ordre de grandeur de puissance typique d'un champ est compris entre la dizaine de mégawatt et la centaine de mégawatt, par exemple 400 mégawatts. Du côté électrolyse, un électrolyseur peut consommer jusqu'à 20 mégawatts.

[0043] On a illustré en [Fig.3] de façon schématique un exemple de disposition spatiale du dispositif de production d'hydrogène 1. Un champ photovoltaïque 100 s'étend sur plusieurs hectares et chaque carré représente par exemple une portion de terrain d'un hectare comprenant des panneaux photovoltaïques 101, par exemple des dizaines, des centaines ou jusqu'à 3000 panneaux 101. Les panneaux photovoltaïques 101 sont connectés entre eux en groupes disjoints, par exemple quatre groupes de sources d'énergie électrique 12a-12d, et chaque groupe 12a-12d est relié électriquement à un électrolyseur 14. D'autres configurations peuvent être prévues dans lesquelles le champ comprend plusieurs dizaines de groupes, chaque groupe étant relié à un ou plusieurs électrolyseurs 14. Les électrolyseurs 14 sont reliés par des câbles aux groupes 12a-12d et à l'organe de traitement central 18 par des conduits 16 acheminant le produit majoritaire en hydrogène 13a et/ou le produit majoritaire en oxygène 13b vers ce dernier. Le dispositif 1 présente dans cet exemple une configuration décentralisée où les électrolyseurs 14 sont répartis dans le champ photovoltaïque 100 et éloignés de l'organe de traitement 18.

[0044] Or le produit en sortie d'électrolyseur comprend de l'eau sous forme de vapeur. Une température du produit peut chuter à cause des échanges de chaleur avec le milieu ambiant ou souterrain en contact avec la canalisation et par conséquent condenser l'eau

présente.

[0045] Cependant, l'eau condensée présente dans la canalisation peut parfois générer deux problèmes :

- une vitesse de corrosion accrue de l'acier noir de la canalisation par la présence d'eau liquide et d'oxygène, et
- une formation de bouchon liquide (selon la terminaison anglosaxonne « slug ») qui peut s'accumuler de façon localisée dans la canalisation, créant un bouchon liquide, générant ainsi des efforts importants sur la canalisation.

[0046] Par ailleurs, la formation de bouchon liquide et la vitesse de corrosion accrue risquent de survenir dans le cas du produit majoritaire en hydrogène et dans le cas du produit majoritaire en oxygène.

[0047] Dans ces conditions, au sujet de la corrosion, remplacer un matériau de la canalisation par un acier allié, par exemple un acier inoxydable, reviendrait à augmenter fortement le prix de transport de l'hydrogène au détriment des dépenses d'investissement diminuées jusqu'à 20% par la configuration spatiale du dispositif.

[0048] Une solution consiste donc à agir directement sur le produit en le chauffant afin qu'il présente une température de 10°C à 30°C au-dessus d'une température de rosée du produit et un taux d'humidité relative inférieur à 20%. Dans cet état, le produit est suffisamment sec et suffisamment chaud pour à la fois limiter la vitesse de corrosion par une présence d'eau, sous forme vapeur uniquement et dans une proportion relativement faible, et éviter la formation d'un bouchon liquide causé par la condensation.

[0049] Pour ce faire, le dispositif comprend en outre un échangeur de chaleur configuré pour chauffer le produit, l'échangeur étant en aval de l'électrolyseur en référence à un flux du produit depuis l'électrolyseur vers l'échangeur. Plusieurs électrolyseurs peuvent être reliés en parallèle, le flux du produit résultant d'une somme des flux respectifs issus de chaque électrolyseur et allant vers l'échangeur.

[0050] L'eau dans le produit ne se condense donc pas dans la canalisation, limitant ainsi les deux problèmes évoqués. De plus, la présence d'oxygène dans le produit convoyé présente l'avantage de passiver une surface interne de la canalisation. La diffusion et le piégeage de l'hydrogène au sein de la structure atomique du matériau de la canalisation sont ralentis par la passivation de la surface interne de la canalisation. Le dispositif présente en outre l'avantage de conserver un matériau peu onéreux pour la canalisation et/ou d'éviter un traitement interne de protection.

[0051] Le chauffage du produit nécessite en outre un apport d'énergie sous forme de chaleur. Afin de limiter cet apport, l'échangeur de chaleur est configuré pour chauffer le produit par un transfert d'une énergie thermique dissipée par l'électrolyse de l'eau au sein de l'électrolyseur. En effet, l'électrolyse de l'eau produit, par effet Joule, une chaleur transmise à la solution d'électrolyte comprenant donc une source d'énergie

thermique disponible pour le chauffage.

[0052] Un vecteur de transport de l'énergie thermique dissipée par l'électrolyse peut être la solution d'électrolyte. Pour ce faire, l'échangeur comprend :

- un premier circuit configuré pour faire circuler un flux de la solution d'électrolyte dans l'échangeur ;
- un second circuit configuré pour faire circuler un flux du produit dans l'échangeur ; et
- une surface d'échange thermique configurée pour chauffer le produit par la solution d'électrolyte.

[0053] Ainsi, le produit est chauffé par la chaleur générée par l'électrolyse de l'eau sans apport d'énergie thermique extérieure.

[0054] On a illustré à titre d'exemple en [Fig.4] le dispositif 1 dans le cas où le vecteur de transport de l'énergie thermique dissipée par l'électrolyse est la solution d'électrolyte. Par ailleurs, le dispositif 1 selon un tel mode de réalisation est configuré pour traiter indifféremment le produit majoritaire en hydrogène 13a et le produit majoritaire en oxygène 13b. Un flux 156 de la solution d'électrolyte circule dans le premier circuit et un flux du produit 13a, 13b circule dans le second circuit. En référence au flux de produit 13a, 13b de l'électrolyseur 14 vers l'échangeur 151, le produit 13a, 13b sort de l'électrolyseur 14 à une température de 53°C puis traverse le second circuit dans lequel il est chauffé par la solution d'électrolyte du premier circuit à l'interface de la surface d'échange thermique de l'électrolyseur 14 pour atteindre une température de 73°C. Une différence de température entre le produit 13a, 13b en entrée du second circuit et en sortie du second circuit vaut par exemple ici 22°C et présente donc une marge suffisante au-dessus de sa température de rosée pour qu'il soit convoyé (la marge admissible est comprise entre 10°C et 30°C) sans qu'une partie du produit 13a, 13b passe dans un état liquide. De plus, un taux d'humidité relative du produit 13a, 13b en sortie du second circuit vaut 18% et présente donc une valeur suffisamment faible pour ne pas provoquer une corrosion rapide dans la canalisation 16.

[0055] Un autre vecteur de transport de l'énergie thermique dissipée par l'électrolyse peut être le produit. Ainsi, la solution d'électrolyte transmet la chaleur au produit. Pour ce faire, le dispositif comprend en outre :

- un groupe froid configuré pour diminuer une température du produit et donc augmenter une quantité d'eau du produit sous forme liquide,
- un séparateur d'eau, configuré pour extraire un volume d'eau du produit, et
- un circuit d'alimentation, entre le séparateur et l'électrolyseur configuré pour acheminer le volume d'eau extrait du produit jusqu'à l'électrolyseur.

[0056] Ainsi, au lieu d'acheminer le volume d'eau jusqu'à l'organe de traitement, le volume d'eau extrait par le dispositif est convoyé jusqu'à l'électrolyseur pour être recyclée au

plus près de l'électrolyseur.

[0057] Par ailleurs, le dispositif est encore plus avantageux dans le cas où le produit est majoritaire en oxygène. En l'espèce, le produit majoritaire en oxygène est souvent dissipé dans l'atmosphère, il est donc intéressant de récupérer un maximum d'eau au risque qu'elle soit définitivement perdue.

[0058] De plus, dans le cas où le vecteur de transport d'énergie thermique est l'électrolyte, un ensemble comprenant le groupe froid, le séparateur d'eau et le circuit d'alimentation peut être utilisé après que le produit soit transporté, c'est-à-dire en aval de la canalisation.

[0059] L'échangeur comprend en outre :

- un premier circuit configuré pour faire circuler le produit en amont du séparateur dans l'échangeur ;
- un second circuit configuré pour faire circuler le produit en aval du séparateur dans l'échangeur ; et
- une surface d'échange thermique configurée pour chauffer le produit en aval du séparateur par le produit en amont du séparateur.

[0060] Dans cette configuration, le produit en aval du séparateur présente non seulement une température de rosée plus basse que le produit en amont du séparateur mais également une température plus basse que le produit en amont du séparateur. Ainsi, le produit en aval du séparateur est chauffé par le produit en amont du séparateur sans apport d'énergie thermique extérieure.

[0061] Le dispositif peut comprendre en outre une boucle de recirculation configurée pour relier le premier circuit au deuxième circuit, la boucle de recirculation comprenant le groupe froid et le séparateur d'eau.

[0062] La [Fig.5] illustre à titre d'exemple le dispositif 1 dans le cas où le vecteur de transport de l'énergie thermique dissipée par l'électrolyse est le produit 13a, 13b. Par ailleurs, le dispositif 1 selon un tel mode de réalisation est configuré pour traiter indifféremment le produit majoritaire en hydrogène 13a et le produit majoritaire en oxygène 13b. En référence au flux de produit 13a, 13b de l'électrolyseur 14 vers l'échangeur 151, le produit 13a, 13b traverse d'amont en aval le premier circuit de l'échangeur 151, la boucle de recirculation 155 comprenant le groupe froid 152 et le séparateur 153 puis le deuxième circuit de l'échangeur 151. Le produit 13a, 13b sort de l'électrolyseur 14 à une température de 53°C en entrée du premier circuit de l'échangeur 151. Le produit 13a, 13b atteint ensuite une température de 12°C en sortie du groupe froid 152. À ce stade, l'eau comprise dans le produit 13a, 13b est majoritairement à l'état liquide. Dans le séparateur 153, un volume d'eau est extrait du produit 13a, 13b et le volume d'eau est acheminé par le circuit d'alimentation 154 jusqu'à l'électrolyseur 14. Puis le produit 13a, 13b traverse le second circuit dans lequel il est chauffé par le produit 13a,

13b du premier circuit à l'interface de la surface d'échange thermique de l'électrolyseur 14 pour atteindre une température de 43°C. Une différence de température entre le produit 13a, 13b en entrée du second circuit et en sortie du second circuit vaut par exemple ici 31°C et présente donc une marge suffisante au-dessus de la température de rosée pour qu'il soit convoyé (la marge admissible est comprise entre 10°C et 30°C) sans qu'une partie du produit 13a, 13b passe dans un état liquide. De plus, un taux d'humidité relative du produit 13a, 13b en sortie du second circuit vaut par exemple ici 17% et présente donc une valeur suffisamment faible pour ne pas provoquer une corrosion rapide de la canalisation 16.

[0063] On peut toutefois prévoir d'autres montages hydrauliques configurés pour relier le premier circuit au deuxième circuit dans lesquels circulent les produits en amont et en aval du séparateur.

[0064] Le dispositif peut également chauffer le produit selon les deux vecteurs de chaleur précités. Par exemple, il peut être prévu que le dispositif comprenne deux étages de chauffage en série:

- un premier étage comprenant un premier échangeur de chaleur dans lequel un premier circuit et un deuxième circuit de l'échangeur sont mutuellement reliés par la boucle de recirculation précédemment décrite ; et
- un deuxième étage comprenant un deuxième échangeur en série du premier échangeur dans lequel un premier circuit du deuxième échangeur est traversé par un flux de la solution d'électrolyte et un deuxième circuit du second échangeur est traversé par un flux du produit issu du premier échangeur.

[0065] Ainsi, le produit est surchauffé pour s'éloigner davantage de sa température de rosée du produit tout en limitant l'apport d'énergie thermique extérieure.

[0066] Afin de convoyer le produit à l'état « brut » tout en limitant la vitesse de corrosion de la canalisation ainsi que la formation de bouchon liquide dans celle-ci, le dispositif est configuré pour mettre en œuvre un procédé de production d'hydrogène et d'oxygène dans lequel, en référence à la [Fig.6], les étapes suivantes sont mises en œuvre.

[0067] Au cours d'une étape E1, le produit est généré par l'électrolyseur. La concentration en volume de l'hydrogène ou de l'oxygène du produit est supérieure ou égale à 95% d'un volume du produit.

[0068] Le produit en sortie de l'électrolyseur est à l'état « brut » et peut par exemple présenter les caractéristiques suivantes :

- la concentration en volume de l'oxygène du produit est strictement supérieure à 0,0050% d'un volume d'un mélange sec comprenant l'hydrogène et l'oxygène du produit, et/ou
- une température de rosée du produit est supérieure à 2°C à une pression de fonctionnement de l'électrolyseur.

[0069] Il est également possible d'exprimer la concentration en volume de l'oxygène et/ou de l'hydrogène du produit en partie par million en volume. Dès lors, la concentration en volume de l'oxygène du produit est strictement supérieure à 50 ppm d'un volume d'un mélange sec comprenant l'hydrogène et l'oxygène du produit (dans cette demande 1 ppm = 0,0001%).

[0070] La température de rosée peut être obtenue à l'aide d'abaques ou de façon analytique, par exemple par un calcul, en fonction d'une mesure d'une concentration d'eau du produit.

[0071] La concentration en volume de l'oxygène et/ou de l'hydrogène du produit peut être mesurée à partir d'un échantillon du produit par un analyseur en ligne ou en laboratoire.

[0072] La pression de fonctionnement de l'électrolyseur est par exemple comprise entre 5 bars ($5.10^{E}5$ pascals) et 70 bars ($70.10^{E}5$ pascals), de préférence entre 15 bars ($15.10^{E}5$ pascals) et 35 bars ($35.10^{E}5$ pascals).

[0073] Le produit en sortie de l'échangeur présente donc une température de 10°C à 30°C au-dessus de la température de rosée du produit et un taux d'humidité relative inférieur à 20%.

[0074] Au cours d'une étape E2, le produit est chauffé par l'échangeur par un transfert de l'énergie thermique dissipée par l'électrolyse de l'eau, le chauffage pouvant être mis en œuvre au moyen de la solution d'électrolyte.

[0075] Le chauffage peut aussi être mise en œuvre au moyen du produit lui-même, c'est-à-dire que le produit en aval du séparateur est chauffé par le produit en amont du séparateur. En l'espèce, on peut prévoir en outre entre la génération et le chauffage les étapes optionnelles suivantes.

[0076] Au cours d'une étape E11, le produit est refroidi par le groupe froid.

[0077] Au cours d'une étape E12, une extraction d'un volume d'eau à partir du produit est mise en œuvre par le séparateur d'eau.

[0078] Au cours d'une étape E13, le volume d'eau est acheminé vers l'électrolyseur.

[0079] Il est donc possible de chauffer le produit et de recycler l'eau localement.

[0080] Il peut être également prévu une étape E3 illustrant une option dans laquelle le produit est acheminé par la canalisation vers l'organe de traitement pour traiter le produit et le stocker.

[0081] Par ailleurs, les étapes E11 à E13 peuvent être également mises en œuvre après l'étape optionnelle E3 et de façon avantageuse dans le cas où le chauffage est mis œuvre au moyen de la solution d'électrolyte.

[0082] On pourra apporter au dispositif et au procédé de nombreuses modifications sans sortir du cadre de l'exposé.

Revendications

[Revendication 1] Procédé de production d'hydrogène et d'oxygène, le procédé comprenant :
- une génération (E1), par un électrolyseur (14), d'un produit (13a, 13b) par une électrolyse de l'eau, le produit (13a, 13b) comprenant de l'hydrogène et de l'oxygène, une concentration en volume de l'hydrogène ou de l'oxygène du produit (13a, 13b) étant supérieure ou égale à 95% d'un volume du produit (13a, 13b) ; et
- un chauffage (E2) du produit (13a, 13b), par un échangeur de chaleur (151) distinct de l'électrolyseur (14), par un transfert d'une énergie thermique dissipée par l'électrolyse,
le chauffage ayant lieu en aval de la génération en référence à un flux du produit (13a, 13b) depuis la génération vers le chauffage.

[Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel on effectue le chauffage au moyen d'une solution d'électrolyte de l'électrolyseur (14).

[Revendication 3] Procédé selon l'une des revendications 1 à 2, comprenant en outre :
- un refroidissement (E11) du produit (13a, 13b) ;
- une extraction (E12) d'un volume d'eau à partir du produit (13a, 13b) ; et
- un acheminement (E13) du volume d'eau vers l'électrolyseur (14).

[Revendication 4] Procédé selon la revendication 3, dans lequel on effectue le chauffage du produit (13a, 13b) en aval de l'extraction au moyen du produit en amont de l'extraction,
le refroidissement puis la séparation ayant lieu entre la génération et le chauffage en référence au flux du produit (13a, 13b) depuis la génération vers le chauffage.

[Revendication 5] Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le produit (13a, 13b) présente, avant le chauffage du produit (13a, 13b), une première température et le produit (13a, 13b) présente, après le chauffage du produit (13a, 13b), une deuxième température, une différence entre la deuxième température et la première température étant comprise entre 22°C et 32°C.

[Revendication 6] Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel, après le chauffage du produit (13), un taux d'humidité relative du produit (13a, 13b) est inférieur à 20%.

[Revendication 7] Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, comprenant en outre un acheminement (E3) du produit (13a, 13b) vers un organe de traitement

(18) du produit (13a, 13b), l'acheminement ayant lieu en aval du chauffage.

[Revendication 8] Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel une température de rosée du produit (13a, 13b) est supérieure à 2°C à une pression de fonctionnement de l'électrolyseur.

[Revendication 9] Procédé selon la revendication 8, dans lequel la concentration en volume de l'oxygène du produit (13a, 13b) est strictement supérieure à 0,0050% d'un volume d'un mélange sec comprenant l'hydrogène et l'oxygène du produit (13a, 13b).

[Revendication 10] Produit (13a, 13b) obtenu au moyen d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9.

[Revendication 11] Dispositif de production d'hydrogène et d'oxygène (1), le dispositif (1) comprenant :
- un électrolyseur (14) configuré pour générer un produit (13a, 13b) par une électrolyse de l'eau, le produit (13a, 13b) comprenant de l'hydrogène et de l'oxygène, une concentration en volume de l'hydrogène ou de l'oxygène du produit (13a, 13b) étant supérieure ou égale à 95% d'un volume du produit, et
- un échangeur de chaleur (151) configuré pour chauffer le produit (13a, 13b) par un transfert d'une énergie thermique dissipée par l'électrolyse, l'échangeur (151) étant en aval de l'électrolyseur en référence à un flux du produit (13a, 13b) depuis l'électrolyseur vers l'échangeur (151).

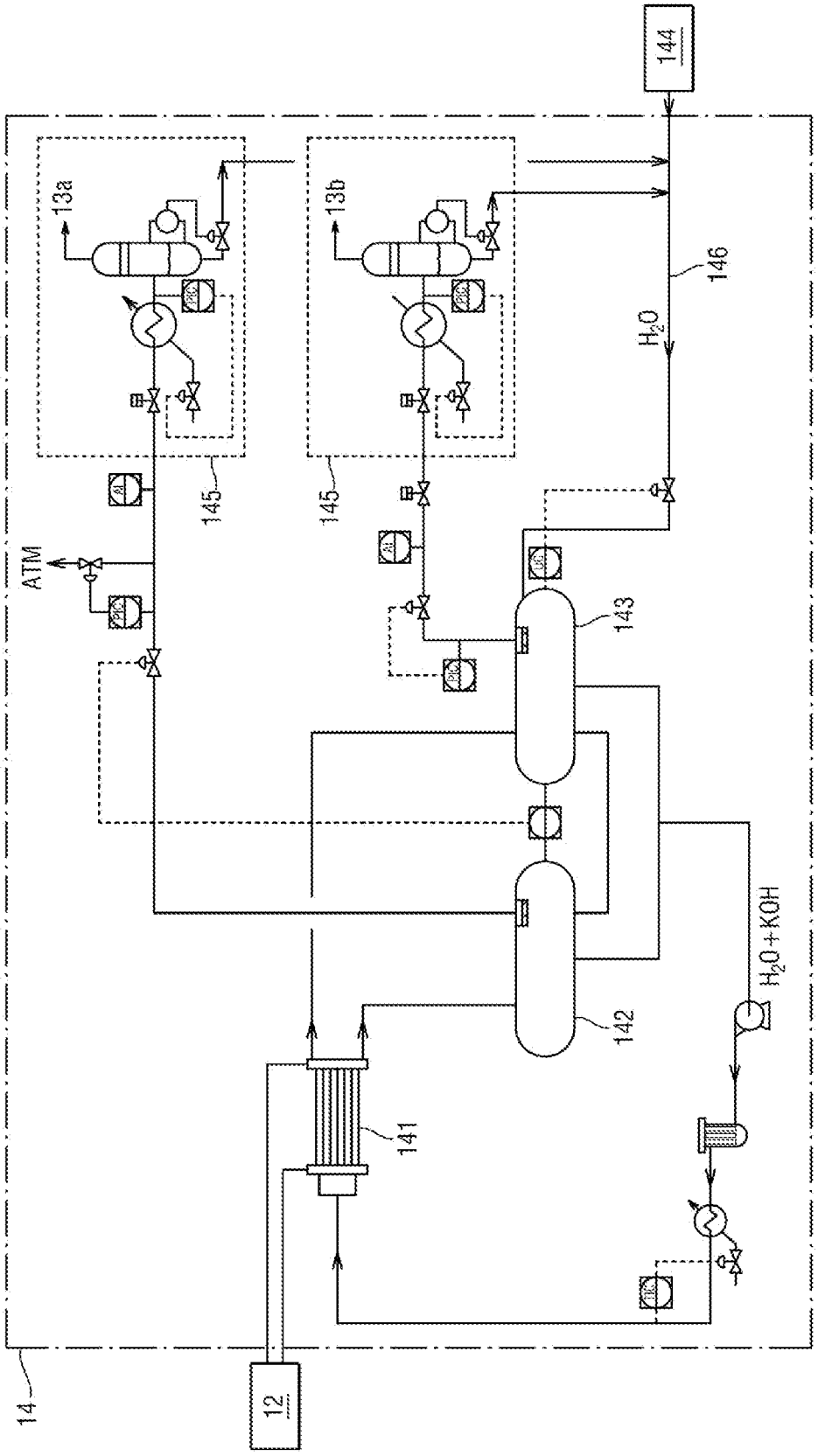
[Revendication 12] Dispositif (1) selon la revendication 11, dans lequel l'échangeur (151) comprend en outre :
- un premier circuit configuré pour faire circuler un flux d'une solution d'électrolyte dans l'échangeur (151) ;
- un second circuit configuré pour faire circuler le flux du produit (13a, 13b) dans l'échangeur (151) ; et
- une surface d'échange configurée pour chauffer le produit (13a, 13b) par la solution d'électrolyte.

[Revendication 13] Dispositif (1) selon la revendication 11, comprenant en outre :
- un groupe froid (152) configuré pour refroidir le produit (13a, 13b); et
- un séparateur (153) configuré pour extraire un volume d'eau à partir du produit (13a, 13b),
le séparateur (153) étant en aval du groupe froid (152) en référence au flux du produit (13a, 13b) depuis l'électrolyseur vers l'échangeur (151), l'échangeur (151) comprenant en outre :
- un premier circuit configuré pour faire circuler le flux du produit (13a,

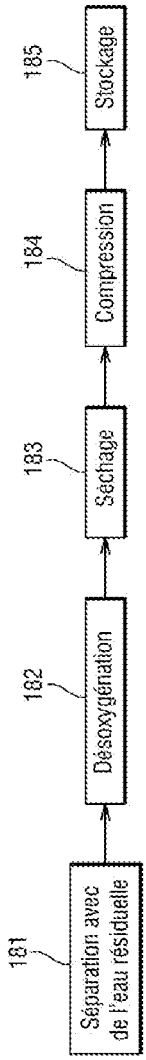
13b) en amont du séparateur (153) dans l'échangeur (151) ;
- un second circuit configuré pour faire circuler le flux du produit (13a, 13b) en aval du séparateur (153) dans l'échangeur (151) ; et
- une surface d'échange thermique configurée pour chauffer le produit (13a, 13b) en aval du séparateur (153) par le produit (13a, 13b) en amont du séparateur (153).

[Revendication 14] Dispositif (1) selon l'une des revendications 11 à 13, comprenant en outre un panneau photovoltaïque (101) configuré pour alimenter l'électrolyseur (14) en courant électrique.

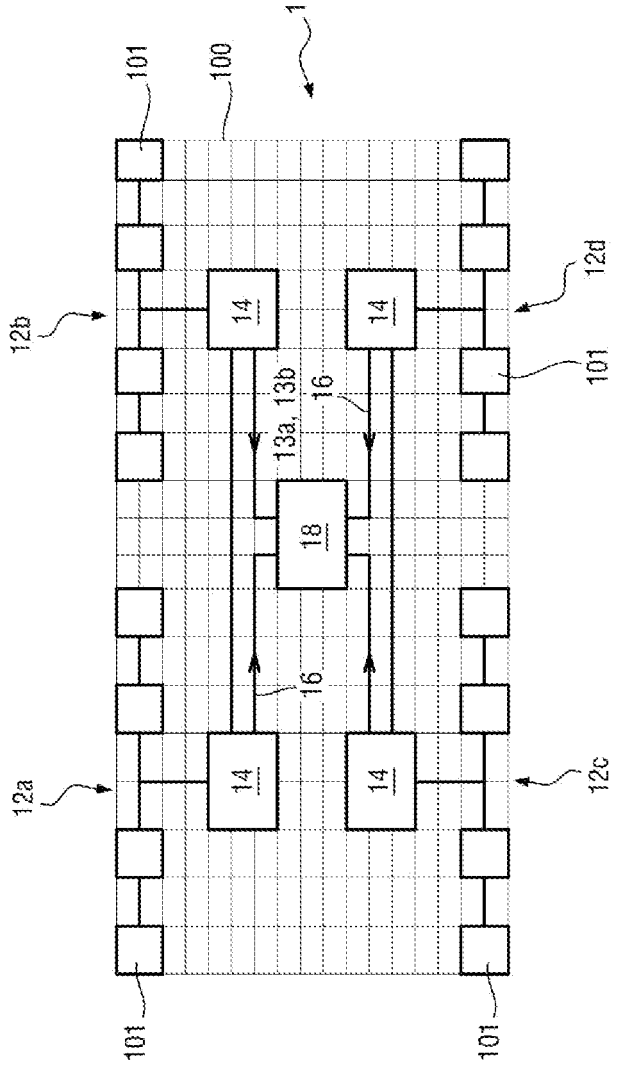
[Fig. 1]



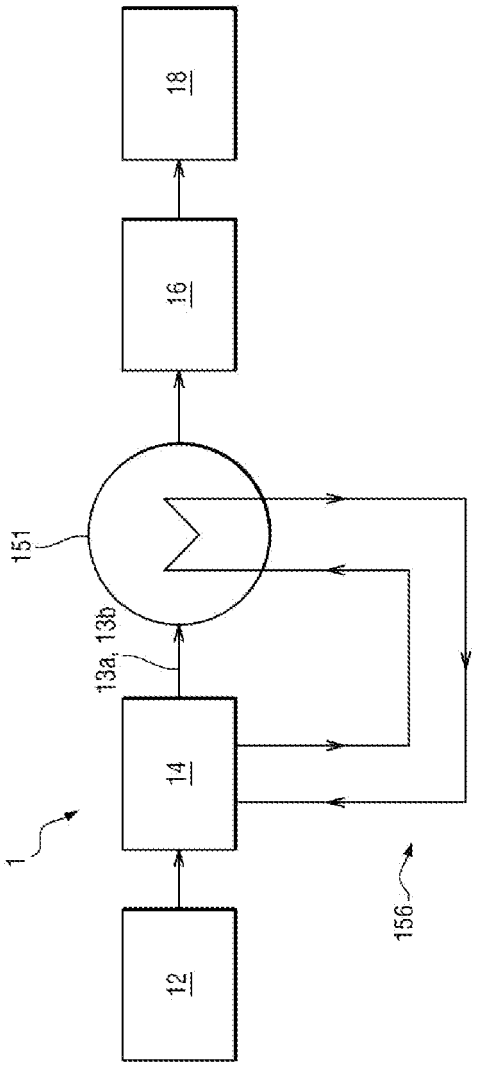
[Fig. 2]


181
Séparation avec de l'eau résiduelle
182
Désoxygénation
183
Séchage
184
Compression
185
Stockage

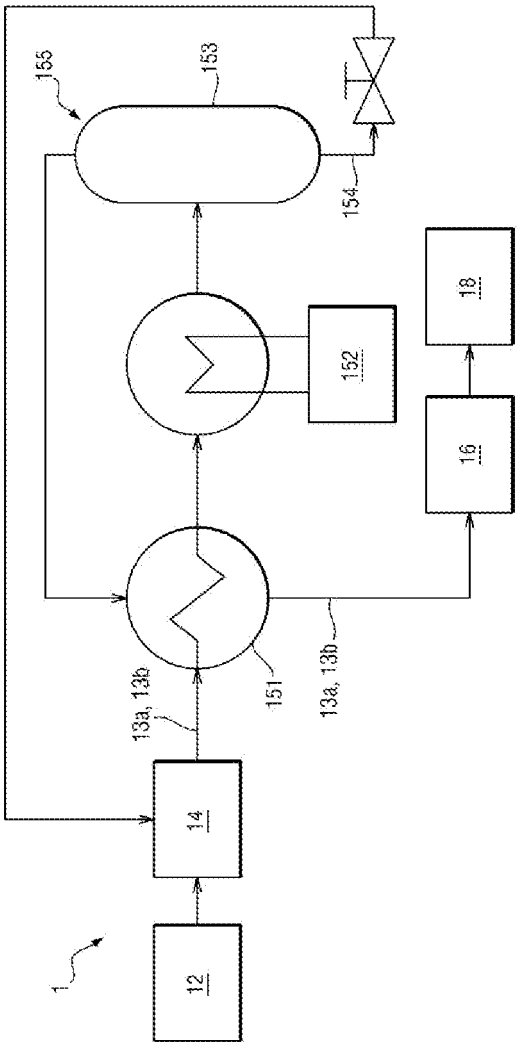
[Fig. 3]



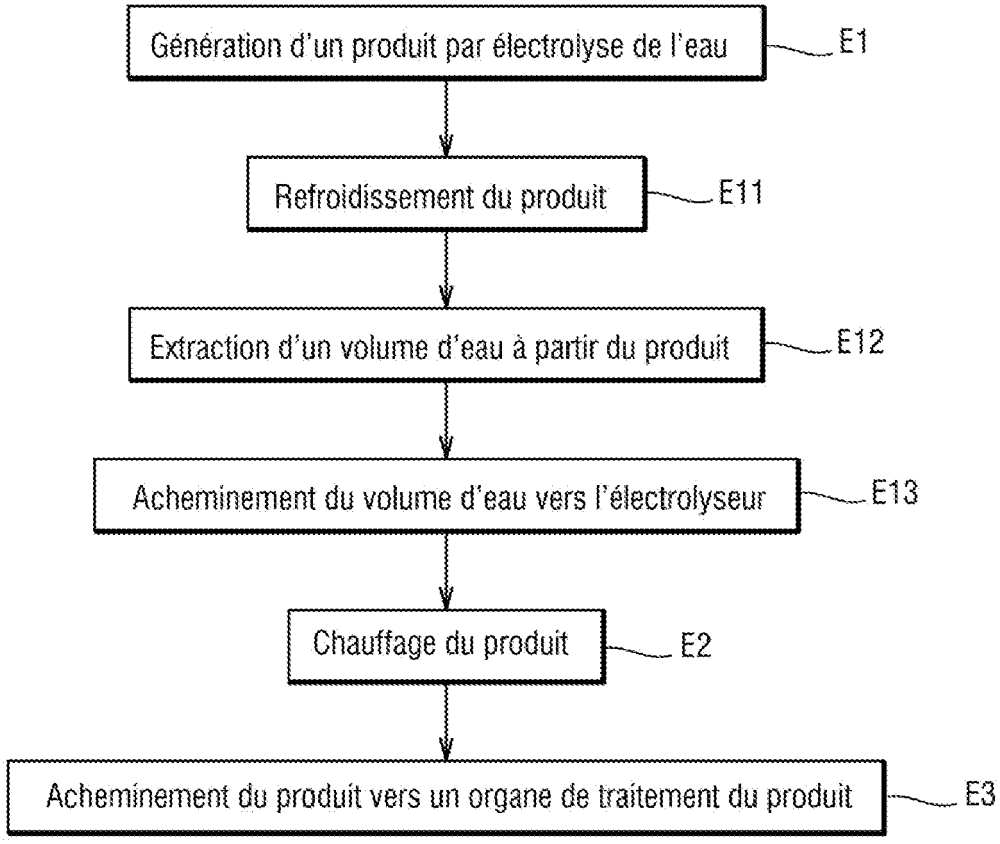
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]


Génération d'un produit par électrolyse de l'eau
E1
Refroidissement du produit
E11
Extraction d'un volume d'eau à partir du produit
E12
Acheminement du volume d'eau vers l'électrolyseur
E13
Chauffage du produit
E2
Acheminement du produit vers un organe de traitement du produit
E3

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national

FA 919469
FR 2305519

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2022/416280 A1 (HANNEMANN FRANK [DE] ET AL) 29 décembre 2022 (2022-12-29) * abrégé * * figures 1, 2 * * revendication 7 * * alinéas [0035] - [0038], [0040] * -----	1-14	C25B 1/044
X	CN 114 017 993 B (HANGZHOU OXYGEN PLANT GROUP CO LTD) 7 juin 2022 (2022-06-07) * abrégé * & DE 10 2023 100232 A1 (HANGZHOU OXYGEN PLANT GROUP CO LTD [CN]) 6 juillet 2023 (2023-07-06) * alinéas [0002], [0017] * * figure 1 * -----	1,6-12, 14	
X	EP 4 151 922 A1 (TIELUK B V [NL]) 22 mars 2023 (2023-03-22) * abrégé * * figure 1 * * alinéas [0061] - [0067] * -----	1-12,14	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			C25B B01D C01C C01B

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
16 avril 2024	Lange, Ronny

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

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 bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons
.....
& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2305519 FA 919469

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **16-04-2024**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2022416280 A1	29-12-2022	DE 102019217114 A1	06-05-2021
		DK 4028145 T3	08-01-2024
		EP 4028145 A1	20-07-2022
		PT 4028145 T	28-12-2023
		US 2022416280 A1	29-12-2022
		WO 2021089245 A1	14-05-2021
CN 114017993 B	07-06-2022	CN 114017993 A	08-02-2022
		DE 102023100232 A1	06-07-2023
		FR 3131588 A1	07-07-2023
		US 2023212768 A1	06-07-2023
EP 4151922 A1	22-03-2023	AUCUN	

EPO FORM P0465