

Description

Titre de l'invention : Navire pour la production d'hydrogène

- [0001] L'invention se rapporte à un navire destiné à la production d'hydrogène et à un procédé de production d'hydrogène par un tel navire.
- [0002] Les principaux gouvernements et industries mondiaux s'engagent de plus en plus à décarboner leurs économies et leurs activités d'ici 2050 environ.
- [0003] Cette décarbonation entraîne ainsi l'utilisation de technologies alternatives pour la mobilité routière, ferroviaire, maritime et aérienne. Des alternatives tels que les moteurs électriques alimentés par une batterie pour remplacer les moteurs thermiques des véhicules sont utilisées, par exemple.
- [0004] Cependant, l'utilisation de batteries rechargeables pose des problèmes d'autonomie et de temps de recharge relativement long des véhicules.
- [0005] L'utilisation de piles à combustible pour alimenter les moteurs électriques permet d'améliorer l'autonomie des véhicules électriques.
- [0006] Il existe plusieurs types de pile à combustible comme les piles à combustible transformant du dihydrogène, communément appelé hydrogène, du méthanol ou de l'ammoniaque en électricité.
- [0007] Une pile à combustible est un générateur dans lequel la fabrication de l'électricité se fait grâce à l'oxydation sur une électrode d'un combustible réducteur (par exemple le dihydrogène) couplée à la réduction sur l'autre électrode d'un oxydant, tel que le dioxygène de l'air.
- [0008] Alternativement, il est également possible d'utiliser directement le dihydrogène comme carburant pour alimenter des moteurs à combustion interne de navires ou pour décarboner des processus industriels, par exemple.
- [0009] Il existe donc un besoin en production d'hydrogène (ou dihydrogène) et de logistique pour cet hydrogène.
- [0010] Classiquement, l'hydrogène est produit sur terre et est transporté par camions ou à travers des gazoducs ou pipelines. Le pipeline est le moyen de transport classiquement utilisé pour les destinations lointaines. Pour des quantités plus importantes et des destinations lointaines, des navires sont approvisionnés à travers des pipelines pour transporter l'hydrogène ou des composés à base d'hydrogène vers des zones de stockage ou de distribution.
- [0011] L'hydrogène vert sera principalement disponible dans des centres d'approvisionnement éloignés tels que l'Australie, le Chili, la Mauritanie, la Namibie, l'Afrique du Nord et le Moyen-Orient, où les conditions climatiques et géographiques favorisent l'exploitation rentable de l'énergie renouvelable. D'autre part, les principaux centres de demande en hydrogène se trouvent en Amérique du Nord, au Japon, en

Corée du Nord et en Europe occidentale.

- [0012] Les centres d'approvisionnement sont ainsi parfois très éloignés des centres de demande en hydrogène.
- [0013] De plus, la production d'hydrogène est dangereuse et est soumise à des normes strictes.
- [0014] On connaît également le document WO2019204857 qui divulgue un système de génération d'hydrogène en mer comprenant une plate-forme fixée au fond marin ou flottante sur la mer et ancrée au fond marin. La plate-forme est positionnée à proximité de la côte et comprend un réservoir de stockage d'ammoniaque liquide qui est alimenté en ammoniaque par des navires. La plate-forme comprend également un réacteur de craquage d'ammoniaque pour craquer l'ammoniaque et produire de l'hydrogène qui est transporté vers la côte par des pipelines pour alimenter des distributeurs d'hydrogène ou des utilisateurs d'hydrogène. L'ammoniaque est également utilisée pour produire de l'électricité qui est également distribué sur la côte pour alimenter des bornes de recharge.
- [0015] L'approvisionnement d'ammoniaque par bateau permet d'éviter les risques liés à ce produit qui est toxique à l'état gazeux. La production d'hydrogène en mer permet également d'éviter les risques liés à l'hydrogène et notamment de limiter les dégâts en cas d'explosion sur la plate-forme.
- [0016] Cependant, les tempêtes et mauvaises conditions météorologiques soudaines sont de plus en plus fréquentes avec le réchauffement climatique. Le risque de submersion de la plate-forme est élevé, ce qui peut entraîner un endommagement sérieux de la plate-forme, voire une explosion de la plate-forme. Les dégâts matériels et humains peuvent être très importants.
- [0017] De plus, l'approvisionnement en hydrogène est strictement limité aux distributeurs d'hydrogène situés à proximité de la plate-forme qui est fixe. Pour approvisionner d'autres sites, il est nécessaire de remplir des camions pour transporter l'hydrogène vers ces sites distants, entraînant des risques d'explosion sur la route ou bien de transférer l'hydrogène à travers des gazoducs, nécessitant de lourds investissements.
- [0018] Le but de l'invention est donc de pallier les inconvénients de l'art antérieur en proposant un navire pour la production d'hydrogène permettant de sécuriser l'installation de production et de stockage d'hydrogène contre les intempéries et de fournir un approvisionnement d'hydrogène plus flexible, à différents endroits.
- [0019] Pour ce faire, l'invention se rapporte ainsi, dans son acceptation la plus large, à un navire pour la production d'hydrogène.
- [0020] Selon l'invention, le navire comprend une installation de production d'hydrogène comportant un ensemble de craquage destiné à craquer un composé à base d'hydrogène pour produire de l'hydrogène et un produit de craquage. Le navire comprend

également un ensemble de filtrage et purification destiné à séparer l'hydrogène du produit de craquage.

- [0021] L'invention fournit ainsi une solution plus flexible. Le navire est mobile, ce qui lui permet de se déplacer vers des ports à l'abri en cas de tempête. L'installation de production d'hydrogène et les personnes à bord sont donc protégées et sécurisées.
- [0022] La production d'hydrogène est réalisée en pleine mer, ce qui permet de sécuriser les personnes et habitations situées sur les côtes en cas d'explosion et de fuite. L'ammoniaque étant corrosif et toxique, il est plus intéressant de le stocker au large. De même, la production l'hydrogène au large réduit significativement les zones de danger pour les populations ainsi que le besoin en foncier.
- [0023] De plus les contraintes normatives sont simplifiées car les normes de stockage et de production d'hydrogène dans des installations terrestres ou maritimes sont différentes.
- [0024] Le navire permet également de déplacer l'installation de production d'hydrogène pour fournir des zones de stockage ou de distribution situées à des endroits différents et éloignées les unes des autres.
- [0025] Le navire peut se déplacer pour alimenter des bateaux ou des installations industrielles en rupture d'ammoniaque ou d'hydrogène pour leur propulsion, par exemple.
- [0026] Le navire peut se déplacer pour se ravitailler en ammoniaque à un endroit très éloigné des endroits de livraison d'hydrogène.
- [0027] L'invention permet d'éviter une perte de temps car le navire produit de l'hydrogène entre son point de ravitaillement et ses différents points de livraison, tout en consommant de l'énergie verte, l'hydrogène ou l'ammoniaque par exemple, pour sa propulsion.
- [0028] Il est possible de déplacer le navire si le besoin en hydrogène n'existe plus à un endroit.
- [0029] Le navire ne navigue jamais à vide, contrairement aux navires de ravitaillement de l'art antérieur qui partent d'un point de ravitaillement à un point de livraison remplis de composés à base d'hydrogène mais qui reviennent du point de livraison vers le point de ravitaillement à vide. Le navire selon l'invention est soit chargé d'une grande quantité d'ammoniaque prêt à être transformé ou soit chargé d'une grande d'hydrogène prêt à être livré.
- [0030] Il est possible d'utiliser plusieurs navires pour augmenter la capacité de production en hydrogène.
- [0031] L'invention permet également d'éliminer le besoin de terminaux coûteux dans les ports et peu respectueux de l'environnement dans les zones fortement contraintes, peuplées et réglementées.
- [0032] Selon une variante, le navire comprend des premiers moyens de stockage pour stocker le composé à base d'hydrogène, des deuxièmes moyens de stockage pour

stocker l'hydrogène et des troisièmes moyens de stockage pour stocker le produit de craquage.

- [0033] Selon une autre variante, le composé à base d'hydrogène est de l'ammoniaque, le produit de craquage étant de l'azote.
- [0034] Selon une autre variante, l'ensemble de filtrage et purification comprend un dispositif d'adsorption par inversion de pression.
- [0035] Selon une autre variante, le navire comprend un pont et au moins une cale. L'ensemble de craquage, l'ensemble de filtrage et purification et les deuxièmes moyens de stockage sont positionnés sur le pont. Les premiers moyens de stockage sont positionnés dans la cale.
- [0036] L'avantage du positionnement de l'ensemble de craquage, de l'ensemble de filtrage et purification et des premiers moyens de stockage sur le pont est de permettre d'occuper un espace plus important qu'en cale, d'avoir une meilleure accessibilité et de permettre d'évacuer plus efficacement une éventuelle fuite d'hydrogène. Une explosion de gaz est également moins dévastatrice à l'extérieur qu'à l'intérieur du navire.
- [0037] Selon une autre variante, l'ensemble de craquage comprend plusieurs unités de craquage mobiles et l'ensemble de filtrage et purification comprend plusieurs unités de filtrage mobiles.
- [0038] Selon une autre variante, le navire comprend des moyens de déplacement pour déplacer les unités de craquage mobiles et les unités de filtrage mobiles.
- [0039] L'installation de production d'hydrogène est ainsi modulaire.
- [0040] Les moyens de déplacement permettent de faire varier le nombre d'unité de craquage mobile et d'unité de filtrage mobile en fonction de la demande en production d'hydrogène.
- [0041] Des unités de craquage mobiles et des unités de filtrage mobiles peuvent être déplacées par les moyens de déplacement d'une zone de stockage vers l'installation de production d'hydrogène pour augmenter la capacité de production d'hydrogène.
- [0042] Des unités de craquage mobiles et des unités de filtrage mobiles peuvent être également déplacées de l'installation de production d'hydrogène vers une zone de maintenance pour réparer les unités de craquage mobiles et les unités de filtrage mobiles.
- [0043] L'utilisation de plusieurs unités de craquage mobiles (ou modules) en parallèle permet de fiabiliser la production. Une unité de craquage mobile défaillante est aussitôt remplacée par une autre unité de craquage mobile.
- [0044] Le positionnement de l'ensemble de craquage et de l'ensemble de filtrage et purification sur le pont permet l'utilisation de moyens de déplacement plus étendus et une meilleure mobilité.

- [0045] L'invention concerne également un procédé de production d'hydrogène par un navire tel que défini précédemment. Le procédé comprend :
- une étape d'alimentation du navire en composé à base d'hydrogène,
 - une étape de craquage du composé à base d'hydrogène par un ensemble de craquage pour produire de l'hydrogène et un produit de craquage, et
 - une étape de filtrage pour séparer l'hydrogène du produit de craquage par un ensemble de filtrage et purification.
- [0046] Selon une variante, les unités de craquage mobiles et les unités de filtrage mobiles sont déplacées d'une zone de stockage vers une installation de production d'hydrogène pour augmenter la capacité de production d'hydrogène.
- [0047] On décrira ci-après, à titre d'exemples non limitatifs, des formes d'exécution de la présente invention, en référence aux figures annexées sur lesquelles :
- [0048] [Fig.1] illustre schématiquement un navire de production d'hydrogène comprenant une installation de production d'hydrogène, selon un mode de réalisation de l'invention ;
- [0049] [Fig.2] illustre schématiquement le navire de la [Fig.1] plus en détail ;
- [0050] [Fig.3] illustre un diagramme d'un procédé de production d'hydrogène par un navire.
- [0051] La [Fig.1] illustre un navire 1 pour la production d'hydrogène comprenant une installation de production d'hydrogène 13 comportant un ensemble de craquage 2 destiné à craquer un composé à base d'hydrogène pour produire de l'hydrogène et un produit de craquage.
- [0052] L'installation de production d'hydrogène 13 comporte également un ensemble de filtrage et purification 3 destiné à séparer l'hydrogène du produit de craquage.
- [0053] On entend par « navire » tout type d'engin ou structure nautique flottante et mobile, tel un bateau, équipé d'un système de propulsion capable de se déplacer sur la mer ou sur un fleuve.
- [0054] Le navire 1 comprend des premiers moyens de stockage 4 pour stocker le composé à base d'hydrogène, des deuxièmes moyens de stockage 5 pour stocker l'hydrogène et des troisièmes moyens de stockage 6 pour stocker le produit de craquage, comme illustré sur la [Fig.2].
- [0055] Le composé à base d'hydrogène peut être sous forme liquide ou gazeuse.
- [0056] Les premiers, deuxièmes et troisièmes moyens de stockage 4, 5, 6 peuvent comprendre un ou plusieurs réservoirs de stockage de liquide ou de gaz sous pression.
- [0057] De préférence, le composé à base d'hydrogène est de l'ammoniaque (NH_3), le produit de craquage étant de l'azote.
- [0058] L'exemple donné ci-après est donné pour de l'ammoniaque mais le composé à base d'hydrogène peut être n'importe quel composé produisant de l'hydrogène après une opération de craquage, comme du méthanol (CH_3OH) ou du méthane (CH_4), par

exemple.

- [0059] L'ammoniaque est stockée sous une forme liquide à basse température (sous -33°C).
- [0060] L'ensemble de craquage 2 comprend plusieurs unités de craquage mobiles 9, également appelées réacteurs de craquage.
- [0061] L'opération de craquage est une réaction endothermique qui consiste à casser l'ammoniaque en hydrogène (ou dihydrogène). Un catalyseur est habituellement utilisé lors de cette opération qui est bien connue. Le procédé de craquage permet de produire environ 75% d'hydrogène et 25% d'azote.
- [0062] L'ensemble de filtrage et purification 3 comprend plusieurs unités de filtrage mobiles 10.
- [0063] Selon une variante, chaque unité de filtrage mobile 10 comprend un dispositif d'adsorption par inversion de pression. L'adsorption par inversion de pression, appelée aussi adsorption à pression modulée (APM) ou (PSA) (acronyme de l'anglais « Pressure Swing Adsorption ») est un procédé de séparation de mélanges de gaz au cours duquel ont lieu alternativement l'adsorption d'un gaz par un solide ou un liquide à une pression donnée, puis sa désorption à une pression plus faible. Ce procédé est également bien connu.
- [0064] D'autres systèmes de filtrage sont également possibles comme la séparation par membrane ou la séparation cryogénique, par exemple.
- [0065] Les unités de craquage mobiles 9 sont indépendantes les unes des autres et les unités de filtrage mobiles 10 sont également indépendantes les unes des autres.
- [0066] Une unité de craquage mobiles 9 peut être associée à une unité de filtrage mobiles 10, par exemple, mais d'autres configurations sont possibles.
- [0067] Le navire 1 comprend un pont 7 et une cale 8.
- [0068] Selon un mode de réalisation possible, l'ensemble de craquage 2, l'ensemble de filtrage et purification 3 et les deuxièmes moyens de stockage 4 sont positionnés sur le pont 7. Les premiers moyens de stockage 5 et les troisièmes moyens de stockage 6 sont positionnés dans la cale 8 ou la soute du navire 1. D'autres configurations sont possibles comme des deuxièmes moyens de stockage 4 positionnés dans la cale 8 ou la soute, par exemple.
- [0069] La soute est un compartiment fermé d'un navire, servant à contenir du matériel, du combustible pour propulser le navire ou des vivres.
- [0070] La cale est l'endroit où la cargaison d'un navire est stockée.
- [0071] Le stockage dans la cale 8 est préféré à la soute.
- [0072] L'avantage du positionnement de l'ensemble de craquage 2, de l'ensemble de filtrage et purification 3 et des premiers moyens de stockage 4 sur le pont 7 est de permettre d'occuper davantage d'espace, d'avoir une meilleure accessibilité et de permettre d'évacuer plus efficacement une éventuelle fuite d'hydrogène. Une explosion de gaz

est également moins dévastatrice à l'extérieur qu'à l'intérieur du navire 1. La maintenance est également simplifiée et les temps d'arrêt sont réduits.

- [0073] Les unités de craquage mobiles 9 et les unités de filtrage mobiles 10 sont mobiles sur le pont 7 du navire 1.
- [0074] Le navire 1 comprend des moyens de déplacement 11 pour déplacer les unités de craquage mobiles 9 et les unités de filtrage mobiles 10.
- [0075] Les moyens de déplacement 11 peuvent comprendre un ou plusieurs ponts roulants.
- [0076] Chaque pont roulant comprend un rail 14 sur lequel se déplace un engin de levage 15 muni de moteurs. L'engin de levage 15 est configuré pour soulever une unité de craquage mobiles 9 ou une unité de filtrage mobiles 10 au moyen de câbles actionnés par un premier moteur. L'engin de levage 15 translate le long du rail 14 au moyen d'un deuxième moteur.
- [0077] D'autres moyens de déplacement 11 sont possibles, comme une grue par exemple.
- [0078] L'installation de production d'hydrogène 13 est ainsi modulaire.
- [0079] Des unités de craquage mobiles 9 et des unités de filtrage mobiles 10 peuvent être déplacées par les moyens de déplacement 11 d'une zone de stockage 12 vers l'installation de production d'hydrogène 13 pour augmenter la capacité de production d'hydrogène.
- [0080] Des unités de craquage mobiles 9 et des unités de filtrage mobiles 10 peuvent être également déplacées de l'installation de production d'hydrogène 13 vers une zone de maintenance à bord pour réparer les unités de craquage mobiles 9 et les unités de filtrage mobiles 10.
- [0081] La dimension et la capacité de production de l'installation de production d'hydrogène 13 est ainsi modulable.
- [0082] Le craquage est une réaction endothermique. Les unités de craquage mobiles 9 et les unités de filtrage mobiles 10 peuvent être remplacées par d'autres plus performantes lorsqu'une nouvelle génération de catalyseur permettra un meilleur rendement.
- [0083] L'invention concerne également un procédé de production d'hydrogène par le navire 1 décrit précédemment. Le procédé, illustré par le diagramme de la [Fig.3], comprend :
- une étape d'alimentation E1 du navire 1 en composé à base d'hydrogène,
 - une étape de craquage E2 du composé à base d'hydrogène par un ensemble de craquage 2 pour produire de l'hydrogène et un produit de craquage,
 - une étape de filtrage E3 pour séparer l'hydrogène du produit de craquage par un ensemble de filtrage et purification 3,
 - une étape de stockage E4 de l'hydrogène et du produit de craquage, et
 - une étape de distribution E5 de l'hydrogène.
- [0084] Selon une variante, le système de propulsion du navire 1 peut être alimenté en composé à base d'hydrogène, tel l'ammoniaque, ou en hydrogène.

- [0085] L'ammoniaque peut être approvisionné sur le navire 1 par des pipelines ou par des bateaux.
- [0086] De même l'hydrogène peut être distribué ou exporté sur terre par des pipelines, des containers, des petits navires ou autres vers des points de stockage en vue d'alimenter des stations-services pour délivrer de l'hydrogène à des véhicules, par exemple.
- [0087] En variante, l'hydrogène peut être distribué à d'autres bateaux qui parcourent de plus longues distances pour alimenter des points de stockage plus éloignés.
- [0088] Le navire 1 peut également redistribuer de l'ammoniaque ou de l'hydrogène à un autre bateau pour alimenter son système d'alimentation en énergie et son système de propulsion, par exemple.
- [0089] Le navire 1 peut comprendre un bras de chargement 16 pour la mise en soute (ou soutage) de l'hydrogène ou du composé à base d'hydrogène sur d'autres bateaux et également pour son approvisionnement en composé à base d'hydrogène.
- [0090] En variante, le navire 1 peut être équipé d'un pont d'accostage pour accueillir de petits bateaux pour décharger des conteneurs d'hydrogène dans les bateaux ou bien charger des conteneurs de composés à base d'hydrogène sur le navire 1, par exemple. Ceci permet d'empêcher les opérations dangereuses de navire à navire et le transfert à quai par grue par exemple.

Revendications

- [Revendication 1] Navire (1) pour la production d'hydrogène caractérisé en ce qu'il comprend une installation de production d'hydrogène (13) comportant un ensemble de craquage (2) destiné à craquer un composé à base d'hydrogène pour produire de l'hydrogène et un produit de craquage, et un ensemble de filtrage et purification (3) destiné à séparer l'hydrogène du produit de craquage, ledit navire (1) comprenant des premiers moyens de stockage (4) pour stocker le composé à base d'hydrogène, des deuxièmes moyens de stockage (5) pour stocker l'hydrogène et des troisièmes moyens de stockage (6) pour stocker le produit de craquage.
- [Revendication 2] Navire (1) selon la revendication 1, caractérisé en ce que le composé à base d'hydrogène est de l'ammoniaque, le produit de craquage étant de l'azote.
- [Revendication 3] Navire (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, caractérisé en ce que l'ensemble de filtrage et purification (3) comprend un dispositif d'adsorption par inversion de pression.
- [Revendication 4] Navire (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comprend un pont (7) et au moins une cale (8), l'ensemble de craquage (2), l'ensemble de filtrage et purification (3) et les deuxièmes moyens de stockage (4) étant positionnés sur le pont (7), les premiers moyens de stockage (5) étant positionnés dans la cale (8).
- [Revendication 5] Navire (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'ensemble de craquage (2) comprend plusieurs unités de craquage mobiles (9), l'ensemble de filtrage et purification (3) comprenant plusieurs unités de filtrage mobiles (10).
- [Revendication 6] Navire (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de déplacement (11) pour déplacer les unités de craquage mobiles (9) et les unités de filtrage mobiles (10).
- [Revendication 7] Navire (1) selon la revendication 6, caractérisé en ce que les moyens de déplacement (11) comprennent au moins un pont roulant.
- [Revendication 8] Procédé de production d'hydrogène par un navire (1) tel que défini selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend :
- une étape d'alimentation (E1) du navire (1) en composé à base d'hydrogène,
 - une étape de craquage (E2) du composé à base d'hydrogène par un ensemble de craquage (2) pour produire de l'hydrogène

- et un produit de craquage, et
- une étape de filtrage (E3) pour séparer l'hydrogène du produit de craquage par un ensemble de filtrage et purification (3).

[Revendication 9] Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que l'ensemble de craquage (2) comprend plusieurs unités de craquage mobiles (9), l'ensemble de filtrage et purification (3) comprenant plusieurs unités de filtrage mobiles (10), les unités de craquage mobiles (9) et les unités de filtrage mobiles (10) étant déplacées d'une zone de stockage (12) vers une installation de production d'hydrogène (13) pour augmenter la capacité de production d'hydrogène.