

12 CERTIFICAT D'UTILITÉ B3

54 PROCÉDÉ DE CRAQUAGE À L'AMMONIAC INTÉGRÉ À L'ÉLECTRICITÉ RENOUVELABLE
POUR DES OPEX RÉDUITES ET UNE FLEXIBILITÉ ACCRUE.

22 Date de dépôt : 08.01.24.

30 Priorité :

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : L'AIR LIQUIDE, SOCIÉTÉ
ANONYME POUR L'ÉTUDE ET L'EXPLOITATION DES
PROCÉDES GEORGES CLAUDE SOCIÉTÉ
ANONYME — FR.

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

45 Date de la mise à disposition du public du
certificat d'utilité : 23.05.25 Bulletin 25/21.

56 Les certificats d'utilité ne font pas l'objet d'un
rapport de recherche.

72 Inventeur(s) : SHRIVASTAVA Swatantra Kumar.

73 Titulaire(s) : L'AIR LIQUIDE, SOCIÉTÉ ANONYME
POUR L'ÉTUDE ET L'EXPLOITATION DES
PROCÉDES GEORGES CLAUDE SOCIÉTÉ
ANONYME.

74 Mandataire(s) : L'Air Liquide, Société Anonyme pour
l'Étude et l'Exploitation des Procédés Georges Claude.

FR 3 149 318 - B3



Description

Titre de l'invention : PROCÉDÉ DE CRAQUAGE À L'AMMONIAC INTÉGRÉ À L'ÉLECTRICITÉ RE- NOUVELABLE POUR DES OPEX RÉDUITES ET UNE FLEXIBILITÉ ACCRUE

- [0001] La présente invention concerne un procédé de production d'hydrogène à l'aide de matières premières non-hydrocarbures. Plus spécifiquement, des modes de réalisation de la présente invention concernent l'utilisation d'ammoniac comme matière première dans une installation de production d'hydrogène à la place d'hydrocarbures, en particulier de gaz naturel.
- [0002] Afin de réduire les effets des émissions de dioxyde de carbone, les nouveaux vecteurs énergétiques deviennent de plus en plus importants. L'hydrogène est l'un des principaux vecteurs énergétiques ; cependant, en raison de sa petite taille moléculaire, de ses exigences en matière de pression élevée et de son point d'ébullition très bas, le transport de l'hydrogène élémentaire est difficile et coûteux.
- [0003] Ammoniac (NH₃) a suscité une certaine attention dans la littérature, puisque les infrastructures existantes peuvent être utilisées pour le stockage et le transport (par exemple, les infrastructures GPL - gaz de pétrole liquéfié). Ainsi, la production d'hydrogène à partir d'ammoniac, plutôt que de gaz naturel, devrait jouer un rôle majeur dans l'avenir de l'hydrogène en tant que molécule clé de la transition énergétique à faible émission de carbone.
- [0004] Le craquage de l'ammoniac pour produire de l'hydrogène est bien rapporté et publié. Il est fait référence ici à un craqueur d'ammoniac tubulaire à chambre de combustion dans lequel l'ammoniac est craqué en H₂+N₂ sur un catalyseur. La réaction thermique de craquage de l'ammoniac est fournie de l'extérieur via la combustion du combustible. Plusieurs schémas de processus sont publiés dans lesquels la charge de combustion peut être réduite en préchauffant/surchauffant l'alimentation en ammoniac, en préchauffant l'air de combustion utilisé pour la combustion, en craquant partiellement l'ammoniac (en amont) à l'extérieur du craqueur principal de type chambre de combustion (firebox en anglais ou boîte à feu dans cette divulgation) dans un pré-craqueur adiabatique/chauffé. L'utilisation d'une intégration thermique appropriée du flux de processus et des gaz de combustion peut aboutir à un système dans lequel la co-production de vapeur peut être nulle.
- [0005] Il est proposé d'utiliser l'électricité dans le processus de craquage de l'ammoniac pour entraîner les moteurs des ventilateurs, des pompes et des instruments, etc.
- [0006] Certains des problèmes associés aux méthodes de séparation connues jusqu'à présent

sont les suivants : la chaleur de craquage de l'ammoniac est requise à différents niveaux de température. La chaleur est généralement fournie via la combustion d'un combustible externe. Bien qu'avec une bonne intégration thermique et des étapes de pré-craquage, un schéma de procédé sans coproduction de vapeur puisse être obtenu, l'efficacité ammoniac à H_2 est encore faible.

- [0007] Par conséquent, il serait avantageux de proposer une solution permettant une production efficace d'hydrogène à partir d'un gaz d'alimentation en ammoniac sans souffrir des inconvénients susmentionnés.
- [0008] De plus, dans les générateurs à turbine à vapeur (STG) typiques, le combustible gazeux est brûlé sous pression dans une chambre de combustion et introduit dans la turbine à gaz. Les gaz d'échappement à la sortie de la turbine à gaz contiennent encore une quantité d'énergie importante. Ces fumées chaudes sont utilisées pour générer de la vapeur surchauffée à haute pression. La chaleur restante est utilisée pour préchauffer l'air pour la combustion et le BFW pour la production de vapeur. La chaleur restante dans les gaz de combustion, qui se situe à environ 130 °C, est perdue dans l'atmosphère via la cheminée des gaz de combustion. La vapeur surchauffée à haute pression est ensuite utilisée pour produire de l'électricité dans des turbines à vapeur. La vapeur d'échappement du STG est aspirée via un système de vide où la pression est définie par le fluide de refroidissement/condensation disponible, qui est généralement de l'eau de refroidissement. Généralement, les conditions de vapeur à l'entrée du condenseur sont d'env. 60 °C et 0,3 bara.
- [0009] L'un des problèmes de cette configuration est que dans le schéma de production d'électricité décrit ci-dessus, la condensation de la vapeur rejette beaucoup d'énergie à l'atmosphère via un système d'eau de refroidissement. Ainsi, dans un système de production d'électricité autonome, il n'y a pas de prélèvement pour une chaleur de basse température/qualité, car elle est perdue dans l'atmosphère comme expliqué précédemment.
- [0010] La présente invention concerne un appareil et un procédé qui satisfont à au moins un de ces besoins. Dans certains modes de réalisation de l'invention, un gaz d'alimentation en ammoniac peut être craqué pour former de l'hydrogène, puis le NH_3 n'ayant pas réagi. est séparé d'un gaz craqué en aval du craqueur, avant que l'ammoniac récupéré ne soit recyclé pour être utilisé comme combustible ou comme matière première.
- [0011] Dans la présente invention, les mesures d'efficacité énergétique au sein du processus de craquage de l'ammoniac vont au-delà de la réalisation d'une configuration sans exportation de vapeur. Un schéma de processus comprenant toutes les mesures d'efficacité énergétique associées à une meilleure intégration de la chaleur est ciblé, où l'énergie externe de l'OSBL peut être utilisée pour réduire la consommation d'ammoniac. Cette énergie externe doit être moins coûteuse que l'alimentation en

NH₃, ce n'est qu'alors qu'une réduction du TCO H₂ est attendue. Par intermittence, les énergies renouvelables sont disponibles en abondance et à des prix très bas (inférieurs au NH₃ par MJ). L'approche décrite dans la présente invention consiste à intégrer l'électricité dans le craquage de l'ammoniac sans réduction de l'efficacité globale (NH₃ LHV + électricité pour une production spécifique de H₂).

[0012] Dans un autre mode de réalisation, étant donné qu'une utilisation future de l'hydrogène produit par craquage d'ammoniac est pour la production d'électricité, il est prévu que de telles unités de craquage d'ammoniac produisant de l'hydrogène soient situées à proximité de l'utilisation finale, à savoir des centrales électriques basées sur l'hydrogène combustible. Par conséquent, dans certains modes de réalisation de la présente invention, il peut être utile de récupérer la chaleur perdue provenant d'une centrale électrique à base d'hydrogène, qui peut être utilisée dans des unités de craquage d'ammoniac, augmentant ainsi l'efficacité globale de l'ammoniac dans la production d'électricité.

[0013] L'invention concerne un procédé de production d'hydrogène à l'aide d'un flux d'alimentation comprenant de l'ammoniac. Le procédé peut comprendre les étapes suivantes : préchauffer un flux d'alimentation en ammoniac ; vaporiser le flux d'alimentation en ammoniac pour former une alimentation en ammoniac gazeux ; craquer la charge d'ammoniac gazeux dans un craqueur d'ammoniac pour produire un flux de gaz craqué comprenant de l'hydrogène, de l'azote et de l'ammoniac n'ayant pas réagi ; refroidir le flux de gaz craqué à une première température qui est suffisante pour condenser au moins une partie de l'ammoniac n'ayant pas réagi afin de former un fluide à deux phases ; séparer le fluide à deux phases dans un séparateur d'ammoniac pour produire un flux d'ammoniac liquide et un flux de gaz de tête composé principalement d'hydrogène et d'azote ; et recycler le flux d'ammoniac liquide produit par le séparateur d'ammoniac, ou un flux dérivé de celui-ci, vers un point en amont du craqueur d'ammoniac, le point en amont pouvant comprendre une entrée de carburant et/ou une entrée d'alimentation en ammoniac. les paramètres de processus étant sélectionnés de telle sorte que le processus de craquage de NH₃ soit dans un état de déficit énergétique, le déficit énergétique étant compensé par une énergie supplémentaire fournie depuis l'extérieur de l'installation (OSBL) et/ou une centrale électrique fonctionnant à l'hydrogène produit par une usine de craquage d'ammoniac.

[0014] Dans des modes de réalisation optionnels du procédé de l'invention :

- l'énergie supplémentaire est sous forme d'électricité ;
- l'énergie supplémentaire est fournie pour chauffer l'air de combustion utilisé pour brûler le combustible ;
- l'énergie supplémentaire est fournie pour chauffer l'air de combustion utilisé pour brûler le combustible et préchauffer/vaporiser le NH₃ alimenter le

processus.

- l'énergie supplémentaire est fournie pour chauffer l'air de combustion utilisé pour la combustion du combustible et préchauffer/vaporiser l'alimentation en NH_3 du procédé ;
- une température d'entrée d'une étape de précraquage est comprise entre 200 et 650 °C, de préférence entre 350 et 500 °C ;
- une température d'entrée d'un gaz de craquage chaud fournissant de la chaleur au gaz d'alimentation est comprise entre 500 et 750 °C, de préférence entre 600 et 700 °C
- un gaz chaud de craquage provient d'un craqueur de type foyer (ou chambre de combustion) équipé de tubes catalytiques pour effectuer la réaction de craquage de l'ammoniac ;
- le gaz chaud de craquage provenant dudit craqueur de type foyer est à une température de 650 à 850 °C, de préférence entre 700 et 800 °C ;
- ledit cracker de type foyer est également doté d'un mécanisme interne de récupération de chaleur (SMR-X).
- ledit craqueur de type foyer est alimenté en air de combustion à une température comprise entre 500 et 700 °C, de préférence entre 530 et 650 °C ;
- le craqueur de type foyer comprend l'absence de mécanisme interne de récupération de chaleur ;
- les gaz de combustion provenant de l'installation de craquage de NH_3 sont refroidis à une température de 400 à 600 °C en fournissant de la chaleur à l'air de combustion et à l'alimentation en NH_3 et/ou à l'ammoniac partiellement craqué lors de l'étape de pré-craquage ;
- l'énergie supplémentaire comprend de l'électricité renouvelable ;
- l'énergie supplémentaire comprend de l'électricité non renouvelable ;
- la chaleur de la centrale électrique arrive sous forme de vapeur à basse pression ;
- les gaz de combustion provenant de la turbine à gaz sont refroidis à une température de 500 à 800 °C, de préférence de 650 à 750 °C, en fournissant de la chaleur à la chaudière à vapeur haute pression et au surchauffeur de vapeur haute pression ;
- les gaz de combustion froids provenant de l'usine de craquage de NH_3 et les gaz de combustion froids provenant de l'usine de turbine à gaz sont mélangés ; et/ou
- les gaz de combustion mélangés plus froids sont ensuite refroidis en fournissant de la chaleur à l'air de combustion, produisant et surchauffant de la vapeur à moyenne pression et en préchauffant l'eau d'alimentation de la

chaudière.

- [0015] Ces caractéristiques, aspects et avantages ainsi que d'autres de la présente invention seront mieux compris à la lumière de la description, des revendications et des dessins annexés suivants. Il convient toutefois de noter que les dessins n'illustrent que plusieurs modes de réalisation de l'invention et ne doivent donc pas être considérés comme limitant la portée de l'invention car elle peut admettre d'autres modes de réalisation tout aussi efficaces.
- [0016] La [Fig.1] représente un mode de réalisation d'une installation de production d'hydrogène utilisant l'ammoniac comme charge conformément à un mode de réalisation de l'art antérieur.
- [0017] La [Fig.2] montre un mode de réalisation d'une installation de production d'hydrogène utilisant de l'ammoniac comme charge d'alimentation qui comprend l'intégration d'énergie électrique externe conformément à un mode de réalisation de la présente invention.
- [0018] La [Fig.3] montre un deuxième mode de réalisation d'une installation de production d'hydrogène utilisant de l'ammoniac comme matière première qui comprend l'intégration d'énergie électrique externe conformément à un mode de réalisation de la présente invention.
- [0019] La [Fig.4] représente un mode de réalisation d'une installation de production d'hydrogène utilisant l'ammoniac comme charge conformément à un mode de réalisation de l'art antérieur.
- [0020] La [Fig.5] montre un troisième mode de réalisation d'une installation de production d'hydrogène utilisant de l'ammoniac comme charge d'alimentation qui comprend l'intégration d'énergie électrique externe conformément à un mode de réalisation de la présente invention.
- [0021] La [Fig.6] montre un quatrième mode de réalisation d'une installation de production d'hydrogène utilisant de l'ammoniac comme matière première qui comprend l'intégration d'énergie électrique externe conformément à un mode de réalisation de la présente invention.
- [0022] Bien que l'invention soit décrite en relation avec plusieurs modes de réalisation, on comprendra qu'elle n'est pas destinée à limiter l'invention à ces modes de réalisation. Au contraire, elle est destinée à couvrir toutes les alternatives, modifications et équivalences qui peuvent être incluses dans l'esprit et la portée de l'invention définie par les revendications annexées.
- [0023] Un cas de base de référence est fourni dans la [Fig.1], basé sur le craquage de l'ammoniac pour produire de l'hydrogène. L'ammoniac liquide est pompé à la pression requise qui est définie par la pression H₂ requise à l'usage final hors de l'installation. L'ammoniac est préchauffé, vaporisé et surchauffé jusqu'à 400 °C en utilisant la

chaleur fournie par les gaz de craquage, les gaz de combustion et la vapeur de GPL. La vapeur d'ammoniac surchauffée passe à travers un lit de catalyseur approprié à l'intérieur de tubes avec de la chaleur fournie au gaz circulant dans les tubes. Les tubes remplis de catalyseur sont disposés de manière appropriée dans une coque sous pression. Le NH_3 partiellement converti ainsi que le $\text{H}_2 + \text{N}_2$ sont introduits dans le craqueur principal de type foyer. La température de craquage est sélectionnée afin d'atteindre >95 % de l'alimentation en NH_3 . Le gaz craqué (après avoir fourni de la chaleur au gaz d'alimentation dans les tubes à l'aide de tubes HLX) est refroidi en fournissant de la chaleur aux chaudières à gaz d'alimentation et à vapeur. Le gaz craqué refroidi à 20 °C est envoyé vers la section de lavage et de récupération où l'ammoniac non converti est récupéré et utilisé comme combustible dans le processus de craquage de l'ammoniac.

[0024] Par rapport à la [Fig.2], l'air de combustion est préchauffé dans un préchauffeur d'air chauffé électriquement. Pour une intégration optimale de la chaleur, ledit préchauffeur d'air électrique est situé entre le préchauffeur d'air chaud et le préchauffeur d'air froid utilisant les fumées comme fluide caloporteur. Dans cet air chauffé électriquement, l'air de combustion est préchauffé de 280 °C à 435 °C. L'énergie économisée dans le FG grâce à cette mise en œuvre permet de surchauffer la charge principale du craqueur jusqu'à une température de 520 °C. L'augmentation de la température de surchauffe de l'alimentation réduit la charge d'allumage dans le craqueur principal et donc la consommation globale d'ammoniac.

[0025] Dans un deuxième mode de réalisation de la présente invention, représenté sur la [Fig.3], en plus du préchauffage (partiel) de l'air de combustion à l'aide d'électricité verte, une partie de l'ammoniac total entrant dans le processus est préchauffée et vaporisée à l'aide d'électricité verte. Alternativement, l'énergie via l'électricité renouvelable peut également être fournie directement au ballon de vapeur pour générer de la vapeur supplémentaire, qui est ensuite utilisée pour préchauffer et surchauffer l'ammoniac introduit dans le processus.

[Tableaux1]

		figure. 1	figure. 2	figure. 3
Paramètre		Cas de base	Intégré 1	Intégré 2
Alimentation totale en ammoniac	kg/h	64734	63892	63138
Excédent de vapeur dans la partie craquage NH_3	kg/h	0	0	0

Consommation d'ammoniac	kg NH ₃ / kg H ₂	7.18	7.09	7.01
Température d'entrée du pré-craqueur	°C	400	400	400
Température de sortie du pré-craqueur	°C	403	416	416
Température de surchauffe de l'alimentation du cracker principal	°C	452	518	565
Température de préchauffage de l'air de combustion.	°C	650	650	650
Électricité renouvelable pour une usine de craquage d'ammoniac	MW	0	3,83	7.19
Coût total de possession H ₂ (1)	€/kg H ₂	3.36	3.33	15h30
H ₂ TCO (avec 50 % du temps de fonctionnement avec de l'électricité renouvelable)	€/kg H ₂	3.36	3.34	3.34
Rendement NH ₃ vers H ₂ (base PCI) $H_2 * PCT / (NH_3 * PCT + \text{énergie renouvelable})$	%	89,1	89,2	89,4

[0026] Par rapport à la [Fig.4], un scénario de référence est fourni. Ce mode de réalisation est basé sur le craquage de l'ammoniac pour produire de l'hydrogène et le même hydrogène est utilisé dans une centrale électrique pour produire de l'électricité. L'ammoniac liquide est pompé à la pression requise, qui est définie par la pression d'entrée de la turbine à gaz (supposée 45 barg dans la comparaison ci-dessous). L'ammoniac est préchauffé, vaporisé et surchauffé jusqu'à 400 °C en utilisant la chaleur fournie par les gaz de craquage, les gaz de combustion et la vapeur de GPL. La vapeur d'ammoniac surchauffée passe à travers un lit de catalyseur approprié à l'intérieur de tubes avec de la chaleur fournie au gaz circulant dans les tubes. Les tubes remplis de catalyseur sont disposés de manière appropriée dans une coque sous pression. NH₃ partiellement converti avec H₂+N₂ est introduit dans le craqueur principal de type foyer. La température de craquage est sélectionnée afin d'atteindre >95 % de l'alimentation en NH₃. Le gaz craqué (après avoir fourni de la chaleur au gaz d'alimentation dans les tubes à l'aide de tubes HLX) est refroidi en fournissant de la chaleur aux chaudières à gaz d'alimentation et à vapeur. Le gaz craqué refroidi à 20 °C est envoyé vers la section de lavage et de récupération où l'ammoniac non converti est

récupéré et utilisé comme combustible dans le processus de craquage de l'ammoniac.

- [0027] $\text{AH}_2 + \text{N}_2$ mélange avec - 75% molaire H_2 est envoyé à la turbine à gaz où il est brûlé en utilisant de l'air de combustion préchauffé. Dans la comparaison ci-dessous, les gaz de combustion sortant de la turbine sont d'env. 950 °C qui est ensuite utilisée dans le cycle de vapeur pour générer de la vapeur haute pression, HP (110 barg) et de la vapeur moyenne pression, MP (45 barg). La vapeur HP est surchauffée à 510°C et détendue jusqu'au niveau MP dans le premier étage de la turbine à vapeur. La vapeur MP provenant de la chaudière à vapeur MP dans FG et la vapeur HP détendu jusqu'au niveau MP sont mélangées puis surchauffées à 410 °C. La vapeur MP surchauffée est ensuite envoyée au 2ème étage de la turbine à vapeur. Enfin, la vapeur est détendue à 0,3 bara (correspond à -65 °C). La turbine à gaz et la turbine à vapeur font tourner le générateur pour produire de l'électricité. La vapeur détendue sous vide est ensuite condensée à l'aide d'eau de refroidissement.
- [0028] Dans le mode de réalisation représenté à la [Fig.5], le flux d'alimentation en NH_3 partiellement craqué est en outre surchauffé jusqu'à une température plus élevée en utilisant la chaleur perdue des gaz de combustion jusqu'à une température de 570 °C. cela réduira de deux fois la production de vapeur dans la chaudière à gaz de combustion de la partie de craquage du NH_3 - (1) une température d'alimentation plus élevée du craqueur de type chambre de combustion entraîne un chauffage plus faible, un débit de gaz de combustion inférieur et (2) une chaleur plus élevée absorbée par les gaz de combustion dans l'alimentation. Le surchauffeur entraîne moins de chaleur disponible pour la génération de vapeur. Comme le cas de base était une configuration de vapeur équilibrée, ce qui signifie que la vapeur requise dans la partie de craquage du NH_3 a été produite à l'intérieur et qu'il n'y a pas d'exportation ou d'importation de vapeur. Cependant, l'augmentation de la surchauffe de la charge et de la température de l'air de combustion se traduit par un déficit de vapeur pour la partie craquage NH_3 . L'énergie/vapeur nécessaire à la partie craquage du NH_3 est fournie par une centrale électrique située à proximité, qui fonctionne avec le combustible H_2 produit par l'usine de craquage du NH_3 .
- [0029] Dans le mode de réalisation représenté à la [Fig.6], les gaz de combustion du craqueur de NH_3 sont uniquement utilisés pour préchauffer l'air et surchauffer les flux d'alimentation en NH_3 , puis mélangés aux gaz de combustion de la turbine à gaz à un niveau de température approprié. Cela pourrait entraîner des économies d'investissement pour le WHRS avec l'unité de craquage de NH_3 après le préchauffeur d'air d'alimentation et de combustion. Un conduit combiné au sein de la centrale électrique extrait efficacement la chaleur des gaz de combustion mélangés avec une cheminée commune et un ventilateur de gaz de combustion.

[Tableaux2]

		figure. 4	figure. 5	figure. 6
Paramètre		Cas de base	Intégré 1	Intégré 2
Ammoniac total besoin	kg/h	65582	62253	61780
Excédent de vapeur dans la partie craquage NH3	kg/h	0	0	0
Consommation d'ammoniac	kg NH3/ kg H2	7.29	6.92	6,87
Température d'entrée du pré-craqueur	°C	400	400	400
Température de sortie du pré-craqueur	°C	429	425	426
Température de surchauffe de l'alimentation du cracker principal	°C	429	570	600
Température de préchauffage de l'air de combustion.	ok	468	650	650
Chaleur fournie par la centrale électrique à l'usine de craquage d'ammoniac	kW	0	14934	18783
Hydrogène de l'usine de craquage de Nh3 à la turbine à gaz	kg/h	8993.8	8993.8	8993.8
Puissance nette produite par la centrale électrique	kW	167049	165016	160561
Rendement NH3 vers H2 (base PCI) $H_2 * PCS / (NH_3 * PCS + \text{énergie de la centrale électrique})$	%	87,7	88,3	88,0
H2 au rendement énergétique (base PCI) $\text{Électricité produite} / (H_2 * TCG)$	%	56.2	55,5	54,0
NH3 au rendement énergétique (base PCI) $\text{Électricité produite} / (NH_3 * BT)$	%	49.3	51.3	50,3

[0030] En référence aux figures, sauf indication contraire, les lignes pointillées et pointillées

entre deux pièces d'équipement sont censées indiquer que l'équipement est, au minimum, thermiquement intégré. Dans certains cas, les lignes pointillées provenant de « électricité » indiquent que l'équipement reçoit de l'énergie électrique, de préférence d'une source OSBL externe.

- [0031] Bien que l'invention ait été décrite conjointement avec des modes de réalisation spécifiques de celle-ci, il est évident que de nombreuses alternatives, modifications et variations apparaîtront à l'homme du métier à la lumière de la description précédente. En conséquence, elle est destinée à englober toutes ces alternatives, modifications et variations qui entrent dans l'esprit et la portée large des revendications annexées. La présente invention peut convenablement comprendre, consister ou consister essentiellement en les éléments divulgués et peut être mise en pratique en l'absence d'un élément non divulgué. De plus, le langage faisant référence à l'ordre, comme premier et deuxième, doit être compris dans un sens exemplaire et non limitatif. Par exemple, l'homme du métier peut reconnaître que certaines étapes ou dispositifs peuvent être combinés en une seule étape/dispositif.
- [0032] Les formes singulières « a », « un » et « le » incluent des référents pluriels, à moins que le contexte n'indique clairement le contraire. Les termes concernant/approximativement une valeur particulière incluent cette valeur particulière plus ou moins 10 %, à moins que le contexte ne dicte clairement le contraire.
- [0033] Facultatif ou optionnel signifie que l'événement ou les circonstances décrits ultérieurement peuvent ou non se produire. La description inclut les cas où l'événement ou la circonstance se produit et les cas où il ne se produit pas.
- [0034] Les plages peuvent être exprimées ici à partir d'environ une valeur particulière et/ou jusqu'à environ une autre valeur particulière. Lorsqu'une telle plage est exprimée, il faut comprendre qu'un autre mode de réalisation va d'une valeur particulière et/ou à l'autre valeur particulière, ainsi que toutes les combinaisons à l'intérieur de ladite plage.

Revendications

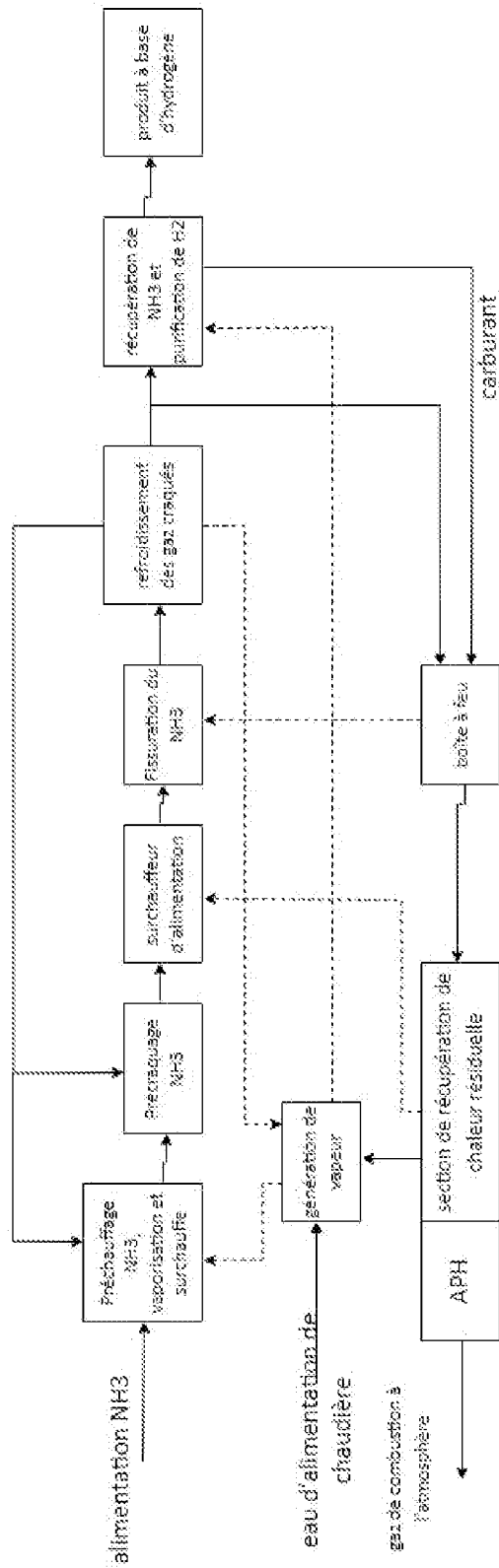
[Revendication 1]

Procédé de production d'hydrogène à l'aide d'un flux d'alimentation comprenant de l'ammoniac, le procédé comprenant les étapes suivantes :

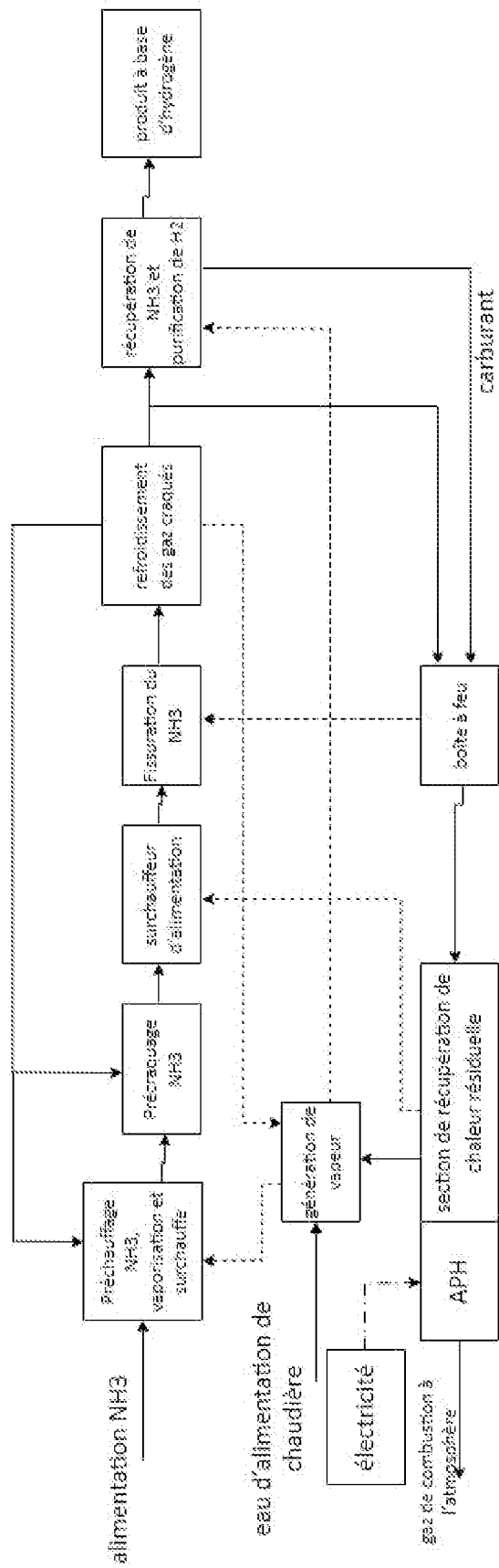
- préchauffer un flux d'alimentation en ammoniac ;
- vaporiser le flux d'alimentation en ammoniac pour former une alimentation en ammoniac gazeux ;
- un processus de craquage comprenant craquer la charge d'ammoniac gazeux dans un craqueur d'ammoniac pour produire un flux de gaz craqué comprenant de l'hydrogène, de l'azote et de l'ammoniac n'ayant pas réagi ;
- refroidir le flux de gaz craqué à une première température qui est suffisante pour condenser au moins une partie de l'ammoniac n'ayant pas réagi afin de former un fluide à deux phases ;
- séparer le fluide à deux phases dans un séparateur d'ammoniac pour produire un flux d'ammoniac liquide et un flux de gaz de tête composé principalement d'hydrogène et d'azote ; et
- recycler le flux d'ammoniac liquide produit par le séparateur d'ammoniac, ou un flux dérivé de celui-ci, vers un point en amont du craqueur d'ammoniac, le point en amont pouvant comprendre une entrée de carburant et/ou une entrée d'alimentation en ammoniac,

dans lequel les paramètres de processus sont sélectionnés de telle sorte que le processus de craquage est dans un état de déficit énergétique, le déficit énergétique étant compensé par une énergie supplémentaire fournie par une centrale électrique qui fonctionne avec du combustible hydrogène produit par une usine de craquage d'ammoniac.

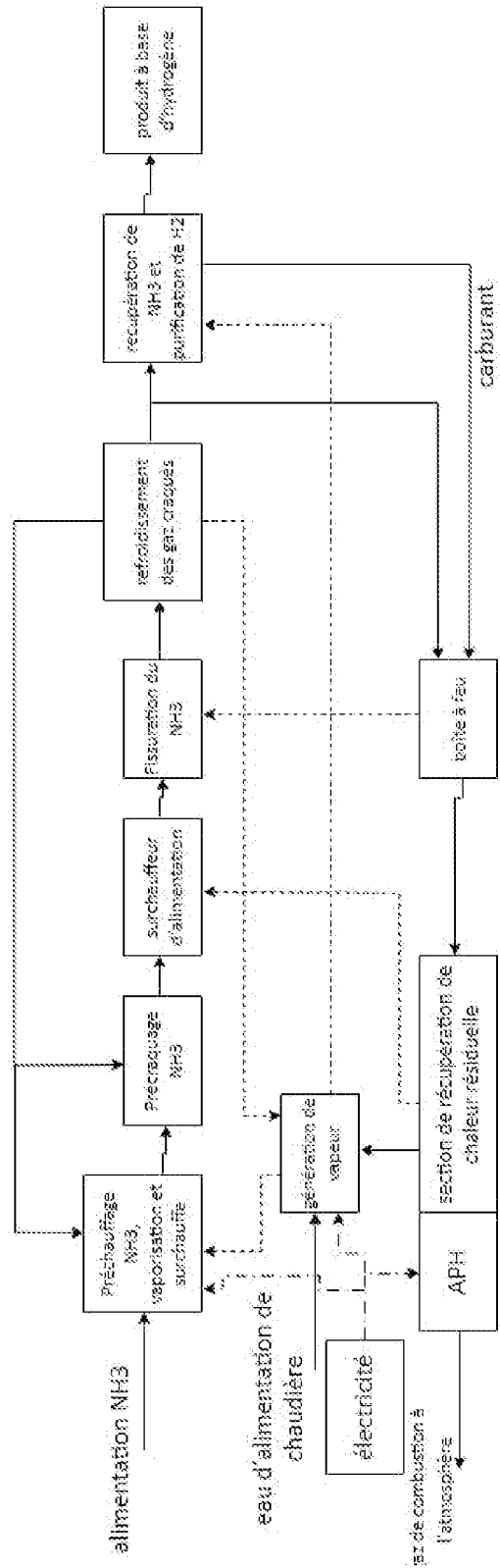
[Fig. 1]



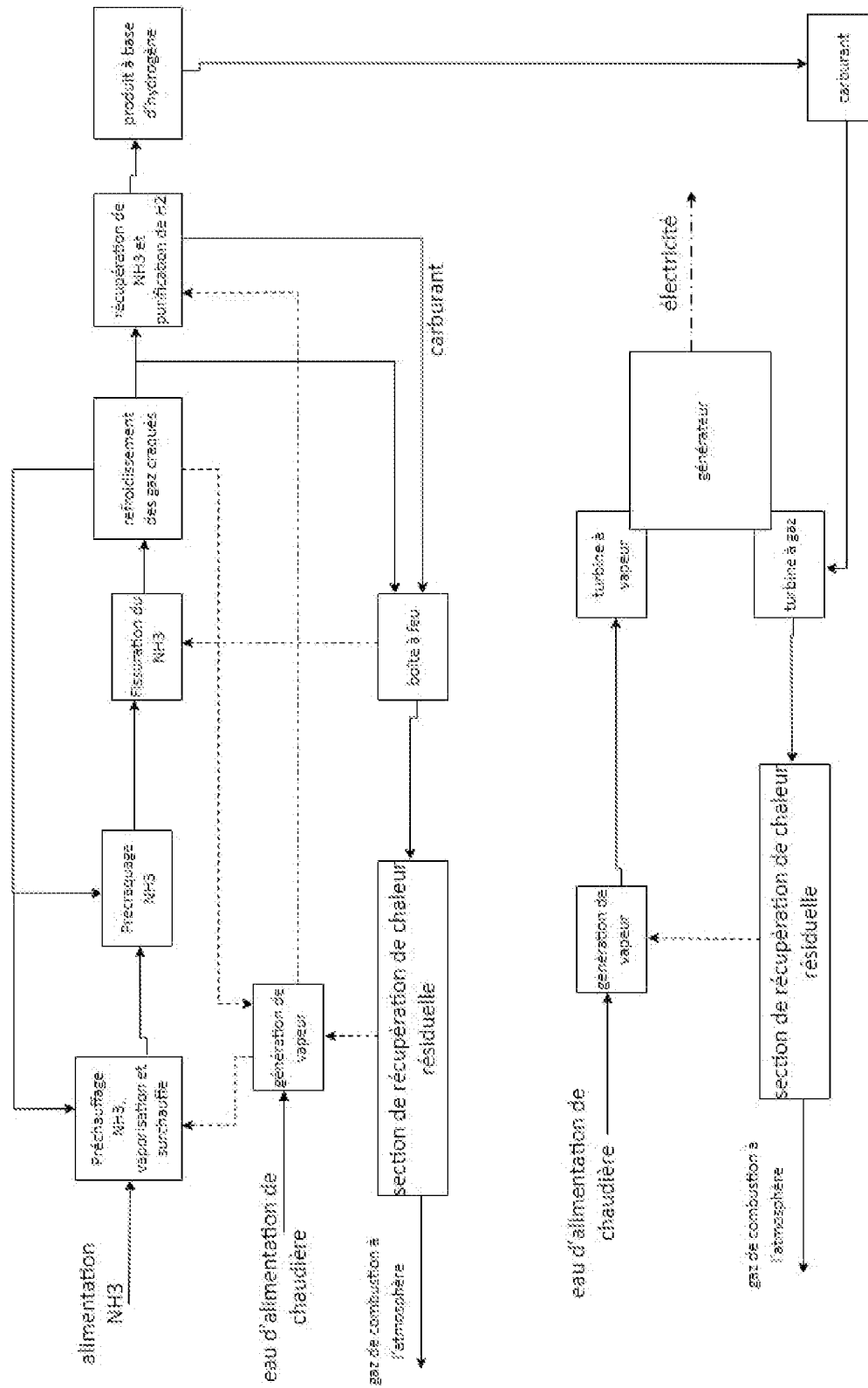
[Fig. 2]



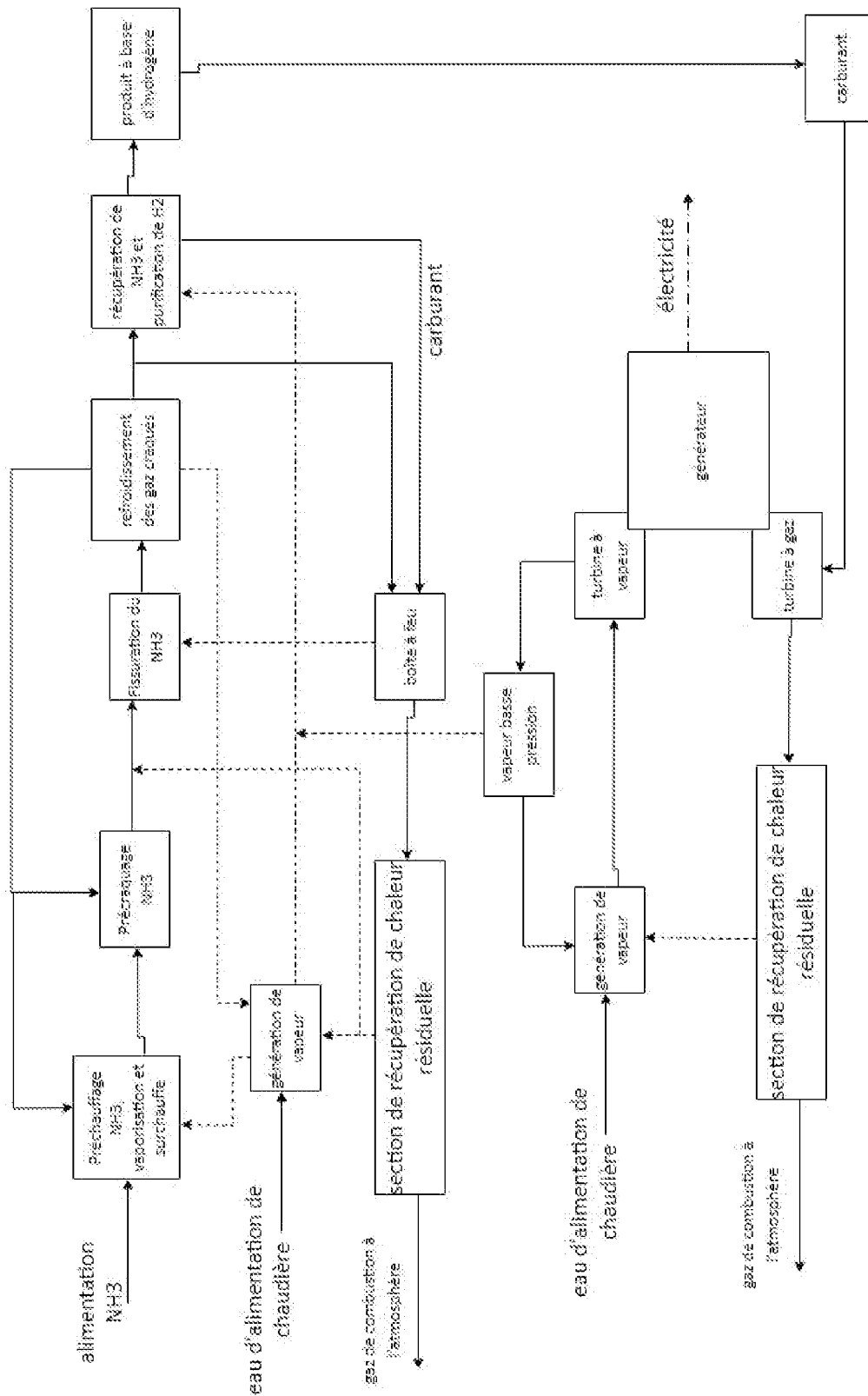
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]

