

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 14.09.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 15.03.24 Bulletin 24/11.

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) : IFP Energies nouvelles Etablissement
public — FR.

72 Inventeur(s) : LEBLANC Nicolas et ZINOLA Sté-
phane.

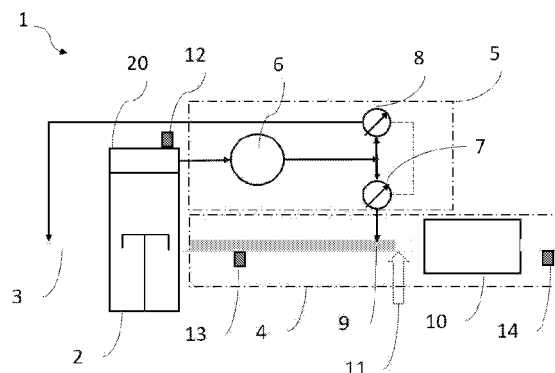
73 Titulaire(s) : IFP Energies nouvelles Etablissement
public.

74 Mandataire(s) :

54 Installation de moteur à combustion interne à hydrogène avec injection d'hydrogène dans la ligne d'échappement, et procédé de commande associé.

57 La présente invention concerne une installation de moteur à combustion interne à hydrogène. L'installation (1) comprend une ligne d'échappement (4) avec un moyen de catalyse à réduction sélective des NO_x sensible à l'hydrogène (10). De plus, l'installation comprend une ligne de captage de l'hydrogène (5) présent au sein d'un carter (20) du moteur à combustion interne (2), cette ligne de captage de l'hydrogène (5) injectant au moins une partie de l'hydrogène dans la ligne d'échappement (4) en amont du moyen de catalyse à réduction sélective des NO_x sensible à l'hydrogène (10).

Figure 1 à publier



Description

Titre de l'invention : Installation de moteur à combustion interne à hydrogène avec injection d'hydrogène dans la ligne d'échappement, et procédé de commande associé

Domaine technique

- [0001] La présente invention concerne le domaine de la dépollution et de la sécurité des moteurs à combustion interne à hydrogène.
- [0002] Le secteur des transports, et en particulier le transport terrestre, est contraint comme les autres secteurs à réduire ses émissions de CO₂ afin de limiter le réchauffement climatique à 2 °C d'ici la fin du siècle. Afin de répondre à cet enjeu sociétal, les technologies de la mobilité doivent évoluer pour viser des émissions de CO₂ proches de zéro. Ainsi, trois grandes familles de technologies sont envisagées pour atteindre cet objectif, chacune d'entre-elles pouvant être plus ou moins adaptée à une application spécifique.
- [0003] • La solution tout électrique : qui associe batterie de traction et chaîne cinématique électrique. Cette dernière peut faire appel à une ou plusieurs machines électriques suivant les puissances demandées par l'application concernée. Cette solution présente deux inconvénients majeurs : le volume et la masse des batteries sont conséquents, limitant leur utilisation aux véhicules ne nécessitant pas de fortes exigences énergétiques, de plus, leur temps de recharge est important, pénalisant ainsi la continuité de service.
- Le système de pile à combustible, qui est un convertisseur chimique créant de l'électricité à partir d'une réaction entre l'hydrogène et l'air. L'électricité ainsi produite est utilisée par une chaîne cinématique électrique similaire à celle du véhicule tout électrique. Les avantages de la pile à combustible par rapport à la batterie se situent au niveau de la densité énergétique de stockage, plus élevée avec l'hydrogène, et de la rapidité de remplissage du réservoir de stockage d'hydrogène. En revanche, la pile à combustible est une solution coûteuse du fait de l'utilisation de métaux précieux. Cette dernière présente également une complexité accrue dans la gestion des transitoires.
- Pour pallier les différents inconvénients listés ci-dessus, une troisième solution consiste à utiliser l'hydrogène en tant que carburant dans un moteur à combustion interne. Cette approche apporte plusieurs avantages :
- [0004] o D'un point de vue de l'utilisateur, cette approche permet pour certaines applications spécifiques comme les poids lourds, les engins de chantier, les bateaux maritimes ou fluviaux d'offrir des caractéristiques intéressantes en termes

d'autonomie, et surtout de temps de recharge, que les systèmes à batterie ne peuvent pas proposer. Seule, la pile à combustible serait à même d'assurer un niveau de prestation identique, mais avec un coût bien plus élevé.

- [0005] o Le moteur à combustion interne d'hydrogène repose sur une technologie mature, fiable et optimisée en termes de coûts, permettant d'utiliser l'outil industriel existant sans grosse modification contrairement aux solutions électriques alternatives qui requièrent des moyens de production en rupture.
- [0006] o Le moteur à combustion interne d'hydrogène est quasiment insensible aux conditions extérieures, comme les températures extrêmes, froides et chaudes, l'altitude, et la présence de poussières dans l'air. Il est également insensible aux vibrations. Ces avantages le rendent particulièrement pertinent sur des applications de type engins de chantier ou engins miniers.
- [0007] o Le moteur à combustion interne d'hydrogène est beaucoup moins sensible que la pile à combustible à la qualité de l'hydrogène utilisée. Par qualité, on entend ici le degré de pureté de l'hydrogène, ainsi que la faible présence de contaminants dans celui-ci, les contaminants possibles étant listés dans la norme ISO 14687-2. On peut citer par exemple l'argon, le CO₂ et les composés soufrés. Il est donc possible d'utiliser un hydrogène de moindre qualité dans le moteur à combustion interne d'hydrogène, avec un avantage sur le coût de celui-ci.
- [0008] Ainsi, le moteur à combustion interne à hydrogène permet de répondre à court terme au besoin de réduction des émissions de CO₂ pour différentes applications. Ce moteur à hydrogène peut être soit conçu et fabriqué directement à partir d'une feuille blanche, soit en convertissant les motorisations essence, Diesel ou gaz actuellement utilisées dans le but d'accélérer la transition écologique avec une solution prête immédiatement.

Technique antérieure

- [0009] Si le moteur thermique alimenté à l'hydrogène présente un certain nombre d'avantages, une problématique spécifique a toutefois été identifiée : la présence d'hydrogène résiduel dans les gaz de carter. Les gaz de carter sont des gaz issus de la combustion se déroulant dans la chambre de combustion qui s'échappent en petites quantités à travers les interstices existants entre les pistons et les cylindres (jeux à la coupe des segments notamment), jusqu'à arriver dans le carter moteur. Dans les moteurs essence, Diesel, GPL (Gaz de pétrole liquéfié) ou GNV (Gaz naturel pour véhicule) de l'état de l'art, ces gaz de carter sont constitués de gaz de combustion, d'hydrocarbures imbrûlés et de vapeurs d'huile. Ceux-ci sont usuellement recyclés à l'admission afin d'éviter une montée en pression dans le carter du moteur, qui pourrait endommager les joints participant à l'étanchéité du circuit de lubrification. Dans les moteurs à combustion interne d'hydrogène, l'hydrogène imbrûlé remplace les hydro-

carbures imbrûlés dans la composition des gaz de carter. La molécule d'hydrogène étant bien plus petite que les molécules constituant les hydrocarbures imbrûlés conventionnels, un niveau de fuite plus important a été observé expérimentalement entre les pistons et les cylindres, conduisant à des concentrations en hydrogène bien supérieures. Ainsi, il est possible d'atteindre des niveaux de concentration en hydrogène dans les gaz de carter supérieurs à la limite inférieure d'explosivité (LIE) qui se situe à environ 4% vol. Des mesures expérimentales ont montré des teneurs pouvant atteindre 7 à 8 % vol. En présence d'oxygène, l'hydrogène peut donc s'enflammer voire entraîner une explosion du carter, créant un risque pour les personnes et les biens se trouvant à proximité. Ce phénomène est d'autant plus marqué lorsque le moteur est en dessous de sa température de fonctionnement optimale, les jeux entre les pistons, les segments et les cylindres étant plus importants et créent ainsi des niveaux de fuite de gaz plus importants.

- [0010] La demande de brevet CN114320529A envisage le recyclage de l'hydrogène issu du carter du moteur à combustion interne à l'admission du moteur. Ce recyclage permet de réduire la concentration en hydrogène dans le carter, et permet d'éviter les pertes en hydrogène.
- [0011] Une deuxième problématique de ce type de moteur est l'émission d'oxydes d'azote NOx par le moteur à combustion interne. Du fait de sa vitesse laminaire de flamme intrinsèquement élevée, la combustion de l'hydrogène est propice à une combustion en mélange pauvre, typiquement comprise entre des lambda (défini par le rapport entre le ratio air carburant réel et le ratio air carburant stœchiométrique) de 2 et 3. Ces combustions en mélange très pauvre permettent à la fois une amélioration du rendement de combustion, ainsi qu'une réduction des émissions d'oxydes d'azote NOx à la source. Ces émissions de NOx, bien que très faibles en comparaison des émissions observées sur des moteurs essence ou Diesel comparables, nécessitent l'utilisation d'un système de dépollution adapté aux combustions en mélange pauvre : le système le plus connu consiste à utiliser un ou plusieurs catalyseurs de type RCS (pour Réduction Catalytique Sélective ou selon l'acronyme anglais SCR pour Selective Catalytic Reduction), technique largement utilisée sur les véhicules Diesel au cours de ces quinze dernières années. Ce catalyseur RCS permet de réduire sélectivement les NOx en azote grâce à l'action d'un agent réducteur. Cet agent réducteur est généralement injecté en amont du catalyseur RCS. Sur les motorisations Diesel commerciales, cet agent réducteur peut être de l'ammoniac ou un composé générant de l'ammoniac par décomposition, comme de l'urée, ou encore être un hydrocarbure provenant d'une substance hydrocarbonée oxygénée ou non. Toutefois, l'urée, tout comme les hydrocarbures, contiennent du carbone dans leur composition. La décomposition de ces agents réducteur dans la ligne d'échappement va donc inmanquablement créer du CO₂, avec pour conséquence de ne

pas avoir une solution zéro émission de carbone.

- [0012] Alternativement, le dihydrogène, plus communément appelé hydrogène, est aussi connu de l'homme de l'art comme étant un agent réducteur efficace pour la catalyse RCS. L'utilisation de cet agent réducteur est donc particulièrement pertinente si le moteur à combustion interne utilise partiellement ou totalement l'hydrogène comme carburant. En outre, celui-ci présente l'avantage de ne pas émettre de carbone et de CO₂ lors de son utilisation en tant qu'agent réducteur de catalyse RCS. Communément, le catalyseur RCS est utilisé en complément d'autres systèmes de dépollution dans la ligne d'échappement : un catalyseur d'oxydation est, de façon très courante, positionné en sortie de la chambre de combustion du moteur, et en amont du catalyseur RCS. Celui-ci a pour finalité d'oxyder les émissions de carburant imbrûlé et de monoxyde de carbone en sortie de la chambre de combustion, ainsi que d'oxyder partiellement le monoxyde d'azote en dioxyde d'azote. L'objectif de cette dernière fonction est de se rapprocher le plus possible d'un rapport stœchiométrique entre le monoxyde d'azote et le dioxyde d'azote en sortie du catalyseur d'oxydation, et en amont du catalyseur RCS, car il est connu dans la littérature qu'une répartition équimolaire permet de maximiser l'efficacité de conversion des NO_x dans le catalyseur RCS. Par ailleurs, un système de réduction des émissions de particules est souvent associé aux catalyseur d'oxydation et catalyseur RCS déjà mentionnés. Celui-ci prend généralement la forme d'un filtre à parois poreuses en charge de filtrer en continu les particules, y compris les plus fines, typiquement inférieures à 50 nm. Ce filtre à particules peut être positionné soit en amont du catalyseur RCS, soit en aval de celui-ci, voire être intégré à celui-ci afin de réaliser de façon simultanée la filtration des particules et la réaction de réduction des NO_x. On parle alors de filtre RCS, ou FRCS.

- [0013] La demande de brevet FR 3013381 (US 2016/0298514) concerne un procédé de dépollution des gaz d'échappement et une installation utilisant un tel procédé. La technologie décrite met en œuvre deux catalyses à réduction catalytique sélective des NO_x : un sensible à l'ammoniac et un sensible à l'hydrogène. Pour obtenir de l'hydrogène et de l'ammoniac, le procédé et l'installation nécessite une décomposition, notamment par électrolyse, d'un agent réducteur en une phase gazeuse d'hydrogène et une phase gazeuse d'ammoniac. Ainsi, ce procédé et cette installation nécessitent un réservoir d'agent réducteur et des moyens assurant cette décomposition, ce qui peut être complexe, énergivore, et encombrant.

Résumé de l'invention

- [0014] L'invention a pour but d'assurer la sécurité et la dépollution d'un moteur à combustion interne à hydrogène, tout en restant simple, peu énergivore et peu encombrant. Pour cela, la présente invention concerne une installation de moteur à

combustion interne à hydrogène. L'installation comprend une ligne d'échappement avec un moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène, ce qui signifie que l'hydrogène est utilisé comme agent réducteur des NOx en utilisant une catalyse RCS adaptée à cette réaction chimique. De plus, l'installation comprend une ligne de captage de l'hydrogène présent au sein d'un carter du moteur à combustion interne, cette ligne de captage de l'hydrogène injectant au moins une partie de l'hydrogène dans la ligne d'échappement en amont du moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène. Ainsi, on diminue le taux d'hydrogène dans le carter du moteur, et on permet simultanément la diminution des NOx en sortie de la ligne d'échappement. De plus, cette solution permet une gestion optimisée de l'hydrogène en particulier pour la catalyse RCS.

- [0015] L'invention concerne sur une installation de moteur à combustion interne utilisant partiellement ou totalement de l'hydrogène en tant que carburant, ladite installation comprenant une ligne d'échappement avec un moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène, et une ligne de captage de l'hydrogène présent au sein d'un carter dudit moteur à combustion interne avec un système de déshuilage. Ladite ligne de captage de l'hydrogène est reliée à ladite ligne d'échappement en amont dudit moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène pour injecter au moins une partie de l'hydrogène capté dans ladite ligne d'échappement.
- [0016] Selon un mode de réalisation, ladite ligne de captage de l'hydrogène est reliée en outre à une ligne d'admission dudit moteur à combustion interne, et ladite ligne de captage de l'hydrogène comprend au moins une vanne pilotée pour piloter un débit de l'hydrogène injecté dans ladite ligne d'échappement et/ou un débit de l'hydrogène recyclé dans ladite ligne d'admission dudit moteur à combustion interne.
- [0017] Conformément une mise en œuvre, ledit carter dudit moteur à combustion interne comprend au moins un capteur d'hydrogène.
- [0018] Avantageusement, ladite ligne d'échappement comprend au moins une sonde à NOx, de préférence une première sonde à NOx en amont dudit moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène et une deuxième sonde à NOx en aval dudit moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène.
- [0019] De manière avantageuse, ladite ligne d'échappement comprend au moins un organe déprimogène, notamment une plaque à orifices, une plaque à diaphragmes, une tuyère ou un tube de Venturi.
- [0020] Selon un aspect, ladite ligne de captage de l'hydrogène comprend au moins une pompe de gaz.
- [0021] Selon une option de réalisation, ladite ligne d'échappement comprend en outre au moins un injecteur d'hydrogène en amont dudit moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène.

- [0022] Conformément à un mode de réalisation, ladite ligne d'échappement comprend au moins un moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'ammoniac.
- [0023] De manière avantageuse, ledit moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'ammoniac est agencé en aval dudit moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène.
- [0024] Selon un aspect, ledit moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'ammoniac est agencé en amont dudit moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène.
- [0025] En outre, l'invention concerne un procédé de commande d'une installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon l'une des caractéristiques précédentes, dans lequel on met en œuvre les étapes suivantes :
- [0026] a. On capte de l'hydrogène présent dans ledit carter dudit moteur à combustion interne ; et
- b. On injecte au moins une partie de l'hydrogène capté dans la ligne d'échappement pour traiter les NOx en association avec ledit moyen de catalyse à réduction sélective de NOx sensible à l'hydrogène.
- [0027] D'autres caractéristiques et avantages du système et du procédé selon l'invention, apparaîtront à la lecture de la description ci-après d'exemples non limitatifs de réalisations, en se référant aux figures annexées et décrites ci-après.

Liste des figures

- [0028] [Fig.1]
- [0029] La [Fig.1] illustre une installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon un premier mode de réalisation de l'invention.
- [0030] [Fig.2]
- [0031] La [Fig.2] illustre une installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.
- [0032] [Fig.3]
- [0033] La [Fig.3] illustre une installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon un troisième mode de réalisation de l'invention.
- [0034] [Fig.4]
- [0035] La [Fig.4] illustre une installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon un quatrième mode de réalisation de l'invention.
- [0036] [Fig.5]
- [0037] La [Fig.5] illustre une installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon un cinquième mode de réalisation de l'invention.

Description des modes de réalisation

- [0038] Dans la présente demande, les termes « amont », « aval » sont définis par rapport au

sens de circulation des gaz, par exemple l'hydrogène, les gaz d'admission, ou les gaz d'échappement.

[0039] La présente invention concerne une installation de moteur à combustion interne à hydrogène (pour désigner du dihydrogène). Il peut s'agir d'un moteur à combustion interne directement conçu pour fonctionner avec du dihydrogène comme carburant, ou, en variante, il peut s'agir d'un moteur à combustion interne essence, Diesel ou à gaz utilisé avec du dihydrogène comme carburant, cette approche étant connue sous le nom de retrofit.

[0040] Par moteur à combustion interne à hydrogène, il est entendu un moteur à combustion interne pouvant fonctionner partiellement ou totalement avec de l'hydrogène en tant que carburant. La quantité d'hydrogène utilisé en tant que carburant dans ce cadre de l'invention est comprise entre 10% et 100% vol. De préférence, le moteur à combustion interne peut fonctionner avec majoritairement de l'hydrogène en tant que carburant. De manière préférée, le moteur à combustion interne peut fonctionner uniquement avec de l'hydrogène comme carburant (à l'exception d'impuretés).

[0041] Classiquement, une installation d'un moteur à combustion interne d'hydrogène comprend :

- [0042] – Au moins un cylindre au sein d'un carter, dans lequel se déplace un piston, le piston et le cylindre délimitant avec une culasse une chambre de combustion,
- Une ligne d'admission d'air, avec un ensemble de conduites, pour alimenter la chambre de combustion en air,
- Une injection de carburant, directe ou indirecte, pour alimenter la chambre de combustion en carburant, et
- Une ligne d'échappement, avec un ensemble de conduites, pour l'évacuation des gaz brûlés depuis la chambre de combustion vers l'atmosphère.

[0043] Selon l'invention, l'installation de moteur à combustion interne à hydrogène comprend une ligne d'échappement avec un moyen de catalyse à réduction des oxydes d'azote NO_x sensible à l'hydrogène. En d'autres termes, la ligne d'échappement comprend un catalyseur RCS des NO_x dont l'agent réducteur est de l'hydrogène, pour assurer le post-traitement des gaz d'échappement. Le post-traitement RCS consiste à réduire les oxydes d'azote NO et NO₂ (couramment dénommés NO_x) sur un dispositif catalytique dont la formulation comprend généralement au moins un métal noble imprégné sur un support. Les supports de l'état de l'art généralement utilisés sont l'alumine Al₂O₃, les oxydes de cérium CeO₂, de zircon ZrO₂, de tungstène WO₃, ou encore de titane TiO₂, utilisés isolément ou en combinaison, les zéolithes (ZSM-5, bêta, chabazite) et les oxydes de pérovskite. Alternativement, des formulations utilisant ces mêmes supports en combinaison avec des métaux non nobles comme le cuivre ou le fer, ou encore avec des alliages métalliques (par exemple PtNi) ou non métalliques,

présentent également des performances intéressantes en termes d'activité et de sélectivité. Ce catalyseur favorise la réduction des NOx en azote, par réaction avec l'agent réducteur. De plus, l'hydrogène est un excellent réducteur des NOx et ce avec des températures de l'ordre d'à peine 100°C. A titre d'exemple, des catalyseurs RCS à hydrogène avec une composition à base de Pt/SiO₂ ou Pt/TiO₂-ZrO₂ Pd/WO₃/ZrO₂ ont montré de bonnes activité et sélectivité dès 90°C. Ainsi, le taux de NOx dans la ligne d'échappement est réduit.

[0044] De plus, l'installation comprend une ligne de captage de l'hydrogène résiduel présent au sein du carter du moteur à combustion interne. En d'autres termes, la ligne de captage est prévue pour évacuer l'hydrogène résiduel au sein du carter. La ligne de captage comprend un ensemble de conduites et un système de déshuilage pour séparer l'hydrogène de l'huile issue du carter. Un tel système de déshuilage peut notamment être réalisé par des systèmes mécaniques passifs de type chicanes, ou bien par des systèmes actifs, plus efficaces, basés par exemple sur la centrifugation de l'huile (par exemple des déshuileurs à cyclone ou des séparateurs centrifuges), ou une combinaison de systèmes passifs et actifs. Ainsi, la sécurité de l'installation est améliorée grâce à la diminution du taux d'hydrogène dans le carter.

[0045] Conformément à l'invention, la ligne de captage de l'hydrogène est reliée à la ligne d'échappement en amont du moyen de catalyse à réduction des NOx sensible à l'hydrogène, pour injecter dans la ligne d'échappement au moins une partie de l'hydrogène capté. Ainsi, le catalyseur RCS sensible à l'hydrogène est alimenté en agent réducteur prélevé directement dans le carter. Ainsi, l'invention permet d'assurer simultanément la sécurité et la dépollution du moteur à combustion interne. L'utilisation de cet hydrogène prélevé dans le carter permet de réduire les émissions de NOx sans avoir à faire appel :

[0046] - soit uniquement à de l'hydrogène contenu dans les réservoirs de stockage du véhicule, ce qui aurait pour effet de réduire l'autonomie de celui-ci,

[0047] - soit uniquement à un agent réducteur additionnel, qui nécessiterait l'utilisation d'un réservoir dédié venant amputer le volume disponible à bord du véhicule. De plus, la plupart des agents réducteurs connus, par exemple l'urée, émettent des émissions de CO₂ lors de leur décomposition dans la ligne d'échappement.

[0048] Selon un mode de réalisation de l'invention, la ligne de captage d'hydrogène peut être reliée en outre à la ligne d'admission du moteur à combustion interne. De cette manière, une partie de l'hydrogène capté peut être recyclé à l'admission du moteur à combustion interne. Ainsi, l'efficacité du moteur peut être améliorée. Pour ce mode de réalisation, la ligne de captage d'hydrogène peut comprendre au moins une vanne pilotée pour piloter un débit d'hydrogène injecté dans la ligne d'échappement et/ou un débit d'hydrogène recyclé de l'admission du moteur à combustion interne. Par

exemple, la ligne de captage peut comprendre deux vannes pilotées, l'une en amont de la connexion à ligne d'échappement et l'autre en amont de la connexion à la ligne d'admission. Dans cet exemple, les vannes peuvent être pilotées de façon simultanées, afin que lorsqu'une d'entre-elles s'ouvre, la seconde se ferme. Ce mode de pilotage permet de dériver entre 0 et 100 % du débit de gaz de carter vers la ligne d'échappement afin d'utiliser la quantité adéquate d'hydrogène contenu dans les gaz de carter déshuilé en tant qu'agent réducteur de la réaction de catalyse RCS en fonction de la quantité totale de NOx à traiter. En variante, la ligne de captage peut comprendre une unique vanne, par exemple une vanne trois voies, avec une entrée et deux sorties.

[0049] Selon un aspect de l'invention, la ligne d'échappement peut comprendre en outre un injecteur d'hydrogène, cet injecteur d'hydrogène étant agencé en amont du moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène. Ainsi, il est possible d'augmenter la quantité d'hydrogène dans la ligne d'échappement si la quantité provenant de la ligne de captage est insuffisante pour une catalyse efficace des NOx. L'hydrogène injecté par cet injecteur peut provenir du réservoir de carburant.

[0050] Conformément à une mise en œuvre de l'invention, le carter du moteur à combustion interne peut comprendre un capteur d'hydrogène. Un tel capteur permet de mesurer la concentration en hydrogène au sein du carter. Cette mesure permet à la fois de répondre à un objectif sécuritaire en permettant de surveiller que la teneur en hydrogène présente dans les gaz de carter ne dépasse pas la Limite Inférieure d'Explosivité (LIE), et également de piloter la commande de l'installation de moteur à combustion interne à hydrogène. Le cas échéant, l'ouverture d'au moins une vanne de la ligne de captage peut dépendre de la quantité d'hydrogène au sein du carter. Le capteur d'hydrogène peut être positionné dans le volume gazeux du carter, ou être installé de façon déportée par rapport à celui-ci avec une communication des gaz entre le carter et le capteur par une conduite de gaz. Alternativement au capteur d'hydrogène, la concentration en hydrogène au sein du carter peut être estimée par des moyens logiques et/ou informatiques (par exemple un calculateur du moteur à combustion interne).

[0051] Selon un aspect de l'invention, la ligne d'échappement peut comprendre au moins une sonde à NOx. Ainsi, la quantité de NOx peut être mesurée au sein de la ligne d'échappement. Alternativement à la sonde à NOx, la quantité de NOx au sein de la ligne d'échappement peut être estimée par des moyens logiques et/ou informatiques (par exemple un calculateur du moteur à combustion interne). Cette quantité de NOx peut être utilisée notamment pour la commande de l'installation de moteur à combustion interne à hydrogène.

[0052] Le cas échéant, l'ouverture d'au moins une vanne de la ligne de captage peut dépendre de la quantité de NOx à traiter au sein de la ligne d'échappement, ou la

quantité d'hydrogène injectée par l'injecteur peut dépendre de la quantité de NO_x au sein de la ligne d'échappement et de la quantité d'hydrogène injectée par la ligne de captage. En effet, on peut adapter la catalyse RCS en fonction de la quantité de NO_x à traiter en ajustant la quantité d'hydrogène injecté dans la ligne d'échappement. Si la quantité d'hydrogène contenue dans les gaz de carter est supérieure à la quantité requise pour réaliser la réaction de réduction des NO_x, alors la partie excédentaire correspondante des gaz de carter peut être recyclée à l'admission du moteur thermique, afin que l'hydrogène contenu dans ceux-ci soit brûlé dans la chambre de combustion, et produise du travail. A contrario, si la quantité d'hydrogène contenue dans les gaz de carter est inférieure à la quantité requise pour réaliser la réaction de réduction des NO_x, un apport complémentaire d'hydrogène peut éventuellement être réalisé de façon additionnelle dans la ligne d'échappement, en amont du catalyseur RCS, par exemple en utilisant un injecteur.

[0053] Selon une variante de cette configuration, la ligne d'échappement peut comprendre une sonde à NO_x en amont du moyen de catalyse à réduction sélective des NO_x sensible à l'hydrogène et une sonde à NO_x en aval du moyen de catalyse à réduction sélective des NO_x sensible à l'hydrogène. Ainsi, ces mesures permettent de connaître l'efficacité du catalyseur RCS, et d'ajuster la quantité d'hydrogène injectée dans la ligne d'échappement.

[0054] Conformément à un mode de réalisation de l'invention, la ligne d'échappement peut comprendre un organe déprimogène, au niveau de la jonction entre la ligne d'échappement et la ligne de captage d'hydrogène, pour diminuer localement la pression au sein de la ligne d'échappement. L'organe déprimogène est un organe apte à générer une diminution de pression locale. En effet, la pression relative régnant dans la ligne d'échappement peut atteindre plusieurs centaines de millibars (plusieurs dizaines de milliers de Pascal), alors que celle rencontrée dans le carter d'huile moteur ne dépasse pas quelques dizaines de millibars (plusieurs milliers de Pascal). Afin de garantir un débit suffisant des gaz de carter dérivés vers la ligne d'échappement, (le cas échéant, lorsque les vannes pilotées sont en positions favorables à cette dérivation), il peut être utile de créer une dépression localisée au niveau de la jonction entre la ligne d'échappement et la conduite contenant les gaz de carter de la ligne de captage d'hydrogène. L'organe déprimogène peut notamment prendre la forme d'une plaque à orifices, d'une plaque à diaphragmes, d'une tuyère ou d'un tube de Venturi.

[0055] Selon une mise en œuvre, la ligne de captage de l'hydrogène peut comprendre au moins une pompe de gaz. La pompe de gaz permet de créer un débit de gaz de carter positif entre le carter du moteur à combustion interne et la ligne d'échappement, c'est-à-dire allant du carter à la ligne d'échappement. La pompe de gaz peut être agencée en aval du système de déshuilage, et peut fonctionner en aspiration. Cette

configuration permet d'éviter de créer une surpression dans le carter du moteur à combustion interne. En variante, une pompe fonctionnant en mode soufflage peut être utilisée sur la ligne de captage, en amont du carter.

[0056] Selon une option, la ligne d'échappement peut comporter un capteur de température placé à l'entrée de la ligne d'échappement pour connaître à tout moment la température des gaz d'échappement qui circulent dans cette ligne. Alternativement, il peut être prévu d'utiliser des moyens logiques et/ou informatiques qui permettent d'estimer à tout moment la température des gaz d'échappement qui circulent dans la ligne.

[0057] Selon un mode de réalisation de l'invention, la ligne d'échappement peut comprendre en outre un moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'ammoniac. En d'autres termes, la ligne d'échappement comprend un catalyseur RCS des NOx dont l'agent réducteur est de l'ammoniac. De cette manière, la ligne d'échappement comprend deux catalyseurs RCS : un sensible à l'hydrogène et un sensible à l'ammoniac. Ce dispositif RCS sensible à l'ammoniac contient un catalyseur. Dans les applications industrielles de l'état de l'art, les formulations de catalyseur RCS les plus communes sont à base de zéolithes échangées au fer ou au cuivre, ou encore à base d'oxyde de vanadium V_2O_5 . Pour introduire de l'ammoniac gazeux dans le système de traitement des gaz d'échappement, il est connu de le produire directement dans la conduite acheminant ces gaz au système RCS en vaporisant une solution aqueuse d'un précurseur de cet agent réducteur tel que par exemple l'urée. L'urée, injectée à une température moyenne d'échappement généralement de 150 à 400°C, libère de l'ammoniac grâce à des réactions successives de thermolyse et d'hydrolyse. D'autres composés précurseurs de l'ammoniac peuvent être employés dans des conditions similaires. Un injecteur d'ammoniac est usuellement employé pour introduire la solution aqueuse d'urée dans la conduite acheminant les gaz d'échappement au catalyseur RCS, en amont de celui-ci. Un mixeur ou mélangeur, installé entre cet injecteur et le catalyseur RCS, peut être utilisé pour améliorer la vaporisation du spray de solution aqueuse d'urée dans le flux de gaz d'échappement. Cet ammoniac peut être injecté dans la ligne d'échappement en amont du catalyseur RCS sensible à l'ammoniac. L'ammoniac peut être obtenu indirectement par décomposition d'un précurseur injecté sous forme liquide, généralement de l'urée en solution aqueuse à 32,5% m plus connu sous la dénomination commerciale nommée "AdBlue™" ou "DEF™".

[0058] Selon un mode de réalisation, le catalyseur RCS utilisant l'hydrogène en tant qu'agent réducteur peut être monté en amont du catalyseur RCS utilisant l'ammoniac en tant qu'agent réducteur. Cette architecture permet d'optimiser la dépollution des NOx pour des faibles températures d'échappement, typiquement inférieures à 150 °C, grâce au catalyseur RCS sensible à l'hydrogène monté en position rapprochée de la sortie de la chambre de combustion. En effet, ce type de catalyseur RCS est particu-

lièrement adapté pour des températures comprises entre 80 et 150 °C.

- [0059] Lorsque les conditions de fonctionnement du moteur thermique évoluent vers des niveaux de températures plus élevés, le catalyseur RCS sensible à hydrogène va devenir progressivement moins efficace, au contraire du catalyseur RCS sensible à l'ammoniac qui va devenir de plus en plus efficace. Cette architecture de ligne d'échappement présente donc un intérêt évident, en permettant de viser une dépollution des NOx sur une plage de température échappement plus large par rapport à l'utilisation d'une seule formulation de catalyseur RCS.
- [0060] Alternativement, le catalyseur RCS utilisant l'ammoniac en tant qu'agent réducteur peut être monté en amont du catalyseur RCS utilisant l'hydrogène en tant qu'agent réducteur. Cette architecture est particulièrement avantageuse pour traiter les oxydes d'azote lorsque la température des gaz d'échappement est élevée, typiquement au-dessus de 150 °C. Le catalyseur RCS utilisant l'hydrogène comme agent réducteur étant plus adapté aux faibles températures d'échappement, celui-ci est positionné en position éloignée de la chambre de combustion, en aval du catalyseur RCS utilisant l'ammoniac comme agent réducteur. Ainsi, les pertes thermiques subies par le catalyseur RCS utilisant l'ammoniac comme agent réducteur et par la ligne d'échappement intermédiaire entre les deux catalyseurs RCS conduisent à une température des gaz d'échappement amoindrie en entrée du catalyseur RCS sensible à l'hydrogène, dont le niveau va dépendre de l'intensité de ces pertes thermiques. Par exemple, une position très éloignée du catalyseur RCS sensible à l'hydrogène par rapport au catalyseur RCS sensible à l'ammoniac va entraîner des pertes thermiques importantes, et donc réduire la température des gaz d'échappement au niveau du catalyseur RCS sensible à l'hydrogène.
- [0061] Selon une option de réalisation, la ligne d'échappement peut comprendre d'autres dispositifs de post-traitement, tel qu'un filtre à particules. Ainsi, les émissions de polluants de l'installation de moteur à combustion interne à hydrogène sont réduites. Un tel filtre à particules prend généralement la forme d'un filtre à parois poreuses en charge de filtrer en continu les particules, y compris les plus fines, typiquement inférieures à 50 nm. Ce filtre à particules peut être positionné soit en amont du catalyseur RCS sensible à l'hydrogène, soit en aval de celui-ci, voire être intégré à celui-ci afin de réaliser de façon simultanée la filtration des particules et la réaction de réduction des NOx. On parle alors de filtre RCS, ou FRCS.
- [0062] L'installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon l'invention est particulièrement adaptée à une application embarquée, par exemple au sein d'un véhicule : poids lourd, navire, engin de chantier, aéroglisseur, etc.
- [0063] En outre, l'invention concerne un procédé de commande d'une installation de moteur à combustion interne à hydrogène. Le procédé de commande est adapté à une ins-

tallation de moteur à combustion interne à hydrogène selon l'une quelconque des variantes ou des combinaisons de variantes décrites précédemment. Pour ce procédé, on met en œuvre les étapes suivantes :

- [0064] a. On capte de l'hydrogène dans le carter du moteur à combustion interne, au moyen de la ligne de captage de l'hydrogène ; et
- b. On injecte au moins une partie de l'hydrogène capté dans la ligne d'échappement pour traiter les NOx en association avec le moyen de catalyse à réduction sélective sensible à l'hydrogène.
- [0065] Le procédé de commande peut comprendre en outre, au moins une des étapes suivantes (notamment en fonction de la variante de réalisation de l'installation de moteur à combustion interne) :
- [0066] – On sépare l'huile et l'hydrogène du fluide capté dans la ligne de captage, de manière à injecter seulement du gaz dans la ligne d'échappement.
- On injecte au moins une partie de l'hydrogène capté dans la ligne d'admission, pour le recyclage d'une partie de l'hydrogène capté,
- On mesure ou on estime la concentration d'hydrogène dans le carter, pour adapter la commande à la concentration d'hydrogène dans le carter,
- On mesure ou on estime la quantité de NOx dans la ligne d'échappement, pour adapter la commande à la quantité de NOx dans la ligne d'échappement, cette mesure ou estimation peut être réalisée en plusieurs points de la ligne d'échappement, de préférence en amont ou en aval de chaque moyen de catalyse à réduction sélective de NOx,
- On mesure ou on estime la température des gaz d'échappement, pour adapter la commande à la quantité de NOx dans la ligne d'échappement,
- On contrôle la quantité d'hydrogène injecté dans la ligne d'échappement, le cas échéant en fonction de la concentration d'hydrogène dans le carter estimée ou mesurée et/ou de la quantité de NOx dans la ligne d'échappement estimée ou mesurée, pour un fonctionnement efficace du catalyseur RCS,
- On traite les NOx dans la ligne d'échappement avec un moyen de catalyse à réduction sélective sensible à l'ammoniac, et on injecte de l'ammoniac dans la ligne d'échappement, pour une réduction importante des NOx sur une grande plage de températures,
- On injecte en outre de l'hydrogène dans la ligne d'échappement, pour assurer une quantité suffisante d'hydrogène pour la catalyse RCS.
- [0067] Par exemple, le procédé de commande peut mettre en œuvre les étapes suivantes :
- [0068] – Si la quantité d'hydrogène contenue dans les gaz de carter est supérieure à la quantité requise pour réaliser la réaction de réduction des NOx, alors on recycle la partie excédentaire correspondante des gaz de carter à l'admission

du moteur thermique, afin que l'hydrogène contenu dans ceux-ci soit brûlé dans la chambre de combustion, et produise du travail, et

- A contrario, si la quantité d'hydrogène contenue dans les gaz de carter est inférieure à la quantité requise pour réaliser la réaction de réduction des NOx, on injecte éventuellement un apport complémentaire d'hydrogène de façon additionnelle dans la ligne d'échappement, en amont du catalyseur RCS, par exemple en utilisant un injecteur.

[0069] De plus, pour le mode de réalisation pour lequel l'installation comporte un catalyseur RCS sensible à l'hydrogène et un catalyseur RCS sensible à l'ammoniac, le procédé peut comporter les étapes suivantes :

- [0070] – Pour une température des gaz d'échappement inférieure à 150 °C, on traite les NOx de la ligne d'échappement au moyen du catalyseur RCS sensible à l'hydrogène,
- Pour une température des gaz d'échappement supérieur à 150°C, on traite les NOx de la ligne d'échappement au moyen du catalyseur RCS sensible à l'ammoniac.

[0071] La [Fig.1] illustre, schématiquement et de manière non limitative, une installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon un premier mode de réalisation de l'invention. L'installation de moteur à combustion interne à hydrogène 1 comprend un moteur à combustion interne 2 avec un carter 20. Le moteur à combustion interne 2 est alimenté en air par une ligne d'admission 3. Les gaz d'échappement du moteur à combustion interne 2 sont évacués par la ligne d'échappement 4. Le moteur à combustion interne à hydrogène 1 comprend une alimentation en hydrogène depuis un réservoir (non représenté). Cette alimentation en hydrogène peut être directe dans la chambre de combustion ou dans la ligne d'admission 3. De plus, l'installation de moteur à combustion interne 1 comprend une ligne de captage d'hydrogène 5. La ligne de captage d'hydrogène 5 capte l'hydrogène présent dans le carter 20. La ligne de captage 5 comprend un système de déshuilage 6. En sortie du système de déshuilage 6, l'hydrogène est distribué soit dans la ligne d'échappement 4 soit dans la ligne d'admission 3, respectivement au moyen de vannes 7 et 8. Les vannes 7 et 8 sont pilotées en simultané et en opposition (cette commande simultanée est représentée par la ligne discontinue qui relie les deux vannes). La ligne d'échappement 4 comprend un moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène 10. La ligne de captage 5 injecte l'hydrogène dans la ligne d'échappement 4 en un point de jonction 9 en amont du moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène 10. En outre, la ligne d'échappement 4 comprend en outre un injecteur 11 d'hydrogène. L'injection 11 d'hydrogène peut être reliée au réservoir d'hydrogène permettant l'alimentation en hydrogène du moteur à combustion interne. L'installation

de moteur à combustion interne à hydrogène 1 comprend en outre plusieurs capteurs : un capteur à hydrogène 12 placé sur le carter 20, et deux sondes à NOx agencées sur la ligne d'échappement 4. Une première sonde à NOx 13 est prévue en amont du moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène 10 afin de déterminer la quantité de NOx à traiter, et une deuxième sonde à NOx 14 est prévue en aval du moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène 10 pour déterminer l'efficacité de conversion des NOx dans le catalyseur RCS.

[0072] La [Fig.2] illustre, schématiquement et de manière non limitative, une installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon un deuxième mode de réalisation de l'invention. Les éléments identiques au premier mode de réalisation de la [Fig.1] ne sont pas décrits une nouvelle fois. Par rapport au premier mode de réalisation de la [Fig.1], la ligne d'échappement 4 comprend en outre un organe déprimogène 15 agencé au point de jonction 9 entre la ligne de captage 5 et la ligne d'échappement 4.

[0073] La [Fig.3] illustre, schématiquement et de manière non limitative, une installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon un troisième mode de réalisation de l'invention. Les éléments identiques au deuxième mode de réalisation de la [Fig.2] ne sont pas décrits une nouvelle fois. Par rapport au deuxième mode de réalisation de la [Fig.2], la ligne de captage 5 comprend en outre une pompe à gaz 16 en aval du système de déshuilage 6 et en amont des vannes 7 et 8.

[0074] La [Fig.4] illustre, schématiquement et de manière non limitative, une installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon un quatrième mode de réalisation de l'invention. Les éléments identiques au troisième mode de réalisation de la [Fig.3] ne sont pas décrits une nouvelle fois. Par rapport au troisième mode de réalisation de la [Fig.3], la ligne d'échappement 4 comprend en outre un moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'ammoniac 17 en aval du moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène 10. Pour ce moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'ammoniac 17, la ligne d'échappement 4 comprend un injecteur d'ammoniac 19 en amont du moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'ammoniac 17. En outre, la ligne d'échappement comprend une troisième sonde à NOx 18 en aval du moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'ammoniac 17 destinée à calculer l'efficacité de conversion des NOx en aval des deux catalyseurs.

[0075] La [Fig.5] illustre, schématiquement et de manière non limitative, une installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon un cinquième mode de réalisation de l'invention. Les éléments identiques au troisième mode de réalisation de la [Fig.3] ne sont pas décrits une nouvelle fois. Par rapport au troisième mode de réalisation de la [Fig.3], la ligne d'échappement 4 comprend en outre un moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'ammoniac 17 en amont du moyen de catalyse à

réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène 10, et même en amont du point de connexion 9 entre la ligne de captage 5 et la ligne d'échappement 4. Pour ce moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'ammoniac 17, la ligne d'échappement 4 comprend un injecteur d'ammoniac 19 en amont du moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'ammoniac 17. En outre, la ligne d'échappement comprend une troisième sonde à NOx 18 en aval du moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'ammoniac 17 destinée à déterminer l'efficacité de conversion des NOx en aval des deux catalyseurs.

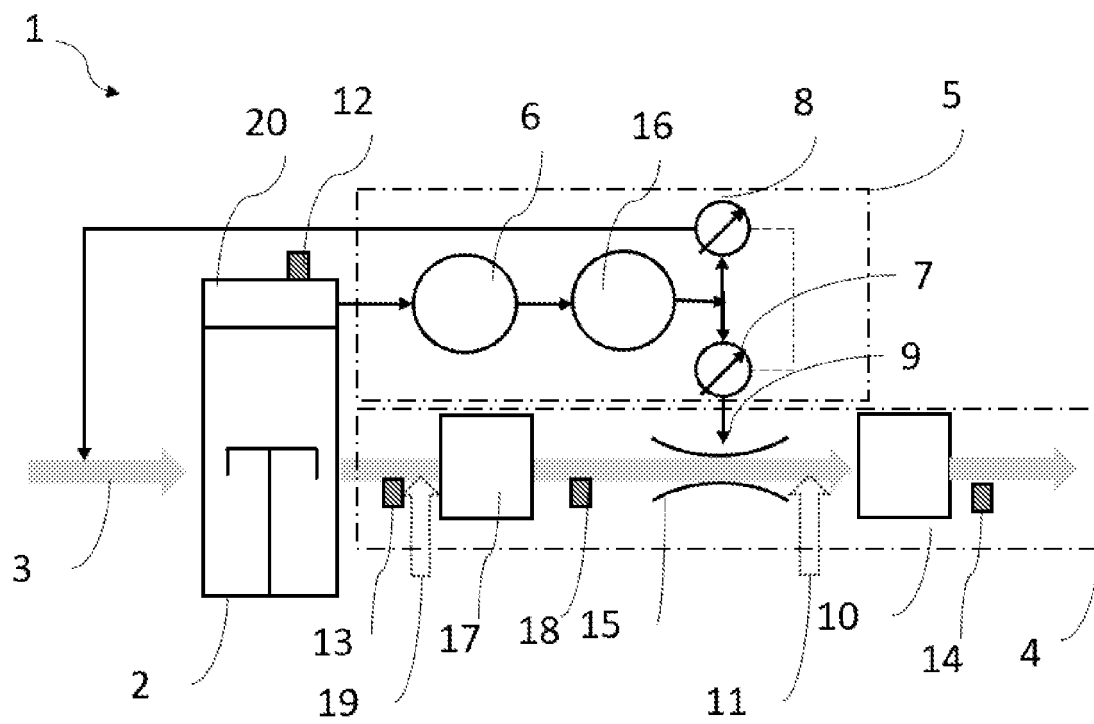
- [0076] Les modes de réalisation des figures 3 à 5 sont illustrés avec l'organe déprimogène, et la pompe à gaz, toutefois, ces équipements sont facultatifs. De la même façon, les modes de réalisation des figures 1 à 5 sont illustrés avec les différents capteurs (capteur hydrogène et sondes à NOx). Toutefois, ces capteurs sont facultatifs et peuvent notamment être remplacés par des estimations de ces quantités.
- [0077] Comme il va de soi, l'invention ne se limite pas aux seules formes de réalisation décrites ci-dessus à titre d'exemple, elle embrasse au contraire toutes les variantes de réalisation.

Revendications

- [Revendication 1] Installation de moteur à combustion interne utilisant partiellement ou totalement de l'hydrogène en tant que carburant, ladite installation comprenant une ligne d'échappement (4) avec un moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène (10), et une ligne de captage de l'hydrogène (5) présent au sein d'un carter (20) dudit moteur à combustion interne avec un système de déshuilage (6), caractérisée en ce que ladite ligne de captage de l'hydrogène (5) est reliée à ladite ligne d'échappement (4) en amont dudit moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène (10) pour injecter au moins une partie de l'hydrogène capté dans ladite ligne d'échappement (4).
- [Revendication 2] Installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon la revendication 1, dans laquelle ladite ligne de captage de l'hydrogène (5) est reliée en outre à une ligne d'admission dudit moteur à combustion interne (3), et ladite ligne de captage de l'hydrogène (5) comprend au moins une vanne pilotée (7, 8) pour piloter un débit de l'hydrogène injecté dans ladite ligne d'échappement (4) et/ou un débit de l'hydrogène recyclé dans ladite ligne d'admission (3) dudit moteur à combustion interne.
- [Revendication 3] Installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle ledit carter (20) dudit moteur à combustion interne (2) comprend au moins un capteur d'hydrogène (12).
- [Revendication 4] Installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle ladite ligne d'échappement (4) comprend au moins une sonde à NOx (13, 14), de préférence une première sonde à NOx (13) en amont dudit moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène (10) et une deuxième sonde à NOx (14) en aval dudit moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène (10).
- [Revendication 5] Installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle ladite ligne d'échappement (4) comprend au moins un organe déprimogène (15), notamment une plaque à orifices, une plaque à diaphragmes, une tuyère ou un tube de Venturi.
- [Revendication 6] Installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle ladite ligne de captage de l'hydrogène (5) comprend au moins une pompe de gaz (16).

- [Revendication 7] Installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle ladite ligne d'échappement (4) comprend en outre au moins un injecteur d'hydrogène (11) en amont dudit moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène (10).
- [Revendication 8] Installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle ladite ligne d'échappement (4) comprend au moins un moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'ammoniac (17).
- [Revendication 9] Installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon la revendication 8, dans laquelle ledit moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'ammoniac (17) est agencé en aval dudit moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène (10).
- [Revendication 10] Installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon la revendication 8, dans laquelle ledit moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'ammoniac (17) est agencé en amont dudit moyen de catalyse à réduction sélective des NOx sensible à l'hydrogène (10).
- [Revendication 11] Procédé de commande d'une installation de moteur à combustion interne à hydrogène selon l'une des revendications précédentes, dans lequel on met en œuvre les étapes suivantes :
- a. On capte de l'hydrogène présent dans ledit carter (20) dudit moteur à combustion interne (2) ; et
 - b. On injecte au moins une partie de l'hydrogène capté dans la ligne d'échappement (4) pour traiter les NOx en association avec ledit moyen de catalyse à réduction sélective de NOx sensible à l'hydrogène (10).

[Fig. 5]



ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2209249 FA 911218**

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 **12-05-2023**
 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
CN 114320529	A	12-04-2022	AUCUN	
FR 3013381	A1	22-05-2015	CN 105917090 A	31-08-2016
			EP 3068987 A1	21-09-2016
			FR 3013381 A1	22-05-2015
			JP 6357234 B2	11-07-2018
			JP 2016538465 A	08-12-2016
			US 2016298514 A1	13-10-2016
			WO 2015071121 A1	21-05-2015
JP 2009228600	A	08-10-2009	AUCUN	
JP 2018076779	A	17-05-2018	AUCUN	