

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫② Date de dépôt : 12.03.08.

③⑦ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 18.09.09 Bulletin 09/38.

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

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦① Demandeur(s) : PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES
SA Société anonyme — FR.

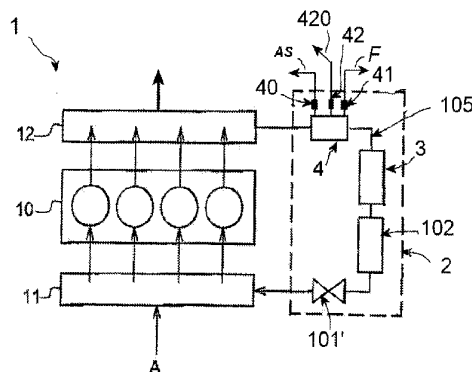
⑦② Inventeur(s) : SAMSON ERWANN et PAJOT OLIVIER.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : PSA PEUGEOT CITROEN.

⑤④ SYSTEME DE CONTROLE DE LA PRODUCTION D'HYDROGENE PAR UN REFORMEUR DE CARBURANT D'UN CIRCUIT DE RECIRCULATION DES GAZ D'ECHAPPEMENT POUR UN MOTEUR A COMBUSTION INTERNE ET MOTEUR A COMBUSTION INTERNE COMPRENANT UN TEL SYSTEME.

⑤⑦ L'invention concerne un système de contrôle de la production d'hydrogène d'un circuit de recirculation des gaz d'échappement d'un moteur à combustion interne comprenant, disposés en cascade sur la liaison de flux gazeux, un module d'injection secondaire d'air et de carburant, un reformeur de carburant produisant l'hydrogène et constituant un système catalytique, et une vanne de régulation du flux gazeux, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour acquérir des données représentant le débit d'air entrant dans le moteur, la richesse air/carburant dans le moteur, le débit de gaz recyclé, la composition des gaz en entrée du circuit de recirculation des gaz d'échappement (202), la température des gaz en entrée du système catalytique (6) et le débit d'hydrogène (202, 6) en sortie du reformeur de carburant (3), de manière à contrôler, à partir de ces données, la production d'hydrogène par ce reformeur de carburant (3).



**SYSTEME DE CONTROLE DE LA PRODUCTION D'HYDROGENE PAR UN REFORMEUR
DE CARBURANT D'UN CIRCUIT DE RECIRCULATION DES GAZ D'ECHAPPEMENT
POUR UN MOTEUR A COMBUSTION INTERNE ET MOTEUR A COMBUSTION INTERNE
COMPRENANT UN TEL SYSTEME**

[0001] La présente invention concerne un système de contrôle de la production d'hydrogène par un reformeur de carburant d'un circuit de recirculation des gaz d'échappement dit « EGR » selon la terminologie anglo-saxonne couramment utilisée (pour « Exhaust Gas Recirculation. Un tel circuit peut être utilisé dans un moteur à combustion interne, tel qu'un moteur de véhicule automobile. L'invention concerne aussi un moteur à combustion interne comprenant un tel système.

[0002] Ci-après, dans un but de simplification de la description, le circuit de recirculation des gaz d'échappement sera dénommé « circuit EGR ».

[0003] La figure 1, annexée en fin de la présente description, illustre schématiquement un circuit EGR classique selon l'art connu. Un moteur à combustion interne 1 comprend une ou plusieurs chambres de combustion 10 situées entre un collecteur d'admission 11 et un collecteur d'échappement 12. Le collecteur d'admission 11 reçoit de l'air A à introduire dans la chambre de combustion 10. Une injection de carburant est également introduite dans la chambre de combustion 10, généralement par une buse d'injection (non représentée). Le collecteur d'échappement 12 reçoit les émissions de gaz produites par la combustion et les dirige vers un catalyseur d'échappement 13 adapté pour traiter les fumées avant leur expulsion vers l'atmosphère extérieure, de façon connue en soi.

[0004] La figure 1 montre aussi un circuit de recirculation EGR 100 des gaz d'échappement. Ce circuit EGR 100 constitue une liaison 105 entre le collecteur d'échappement 12 et le collecteur d'admission 11 et comporte une vanne de régulation 101 en entrée du circuit 100. Il est en effet nécessaire de contrôler précisément le débit des gaz d'échappement réintroduits dans la chambre de combustion 10. Un débit trop important provoque une perte de puissance du moteur 1

et cause des à coups à l'accélération, alors qu'un débit trop faible entraîne une surémission d'oxydes. Le circuit de recirculation 100 comporte aussi un refroidisseur 102, tel qu'un échangeur thermique à tubes échangeant des calories avec le liquide de refroidissement du moteur 1, afin de ne pas introduire des gaz trop chauds dans la

5 chambre de combustion 10, ce qui entraînerait une perte de rendement volumétrique.

[0005] Cette configuration de circuit EGR 100 est bien connue de l'Homme de Métier et il est inutile de la décrire plus avant.

[0006] Il est bien connu par ailleurs que les gaz d'échappement sont chauds et chargés de vapeur d'eau. On peut donc en déduire qu'il est possible de produire de

10 l'hydrogène (H_2) par une opération physico-chimique dite de « reformage », autotherme voire endotherme, du carburant, de l'essence en l'occurrence.

[0007] En outre, dans certains modes de fonctionnement, notamment en mode de fonctionnement dit « IDE Stratifié » (pour « Injection Directe d'Essence »), les gaz d'échappement sont également chargés en oxygène (O_2). L'utilisation d'un système

15 permettant d'enrichir en hydrogène une boucle EGR d'un moteur en reformant une partie du carburant permet d'augmenter la tolérance EGR du moteur et ainsi de réduire la consommation de carburant et les émissions d'oxydes d'azote (NO_x) à la source.

[0008] Un moteur équipé d'un tel système possède donc un circuit d'EGR permettant

20 la recirculation des gaz d'échappement, par exemple le circuit de l'art connu illustré par la figure 1, avec en plus la capacité de modifier chimiquement le carburant utilisé dans le moteur, pour former une quantité notable d'hydrogène. L'apport de ce gaz dans les gaz re-circulés, permet d'envisager un fonctionnement du moteur avec des niveaux d'EGR plus importants que ceux permis par les systèmes de l'art connu

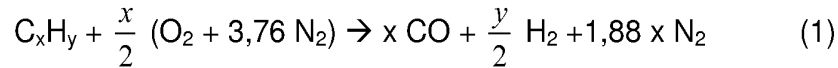
25 précité, réduisant ainsi les émissions d'oxydes d'azote (NO_x), tout en maintenant des niveaux d'émissions de polluants (CO , HC) et particules de suie particulièrement bas grâce à l'apport d'hydrogène dans les gaz re-circulés.

[0009] Pour ce faire, de manière connue en soit, le reformage du carburant peut être obtenu en faisant réagir des molécules de carburant (composition C_xH_y) avec de l'eau

30 (H_2O) et/ou de l'air ($O_2 + 3,76 N_2$) pour produire de l'hydrogène (tous les produits étant

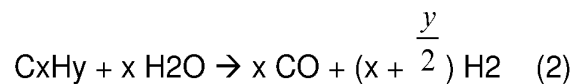
introduits sous forme vapeur), selon l'une ou l'autre des réactions chimiques suivantes :

- reformage par oxydation partielle du carburant (ci-après dénommé « PO_x ») :



5 (réaction de type exothermique)

- Vapo-reformage ou « STR » selon la terminologie anglo-saxonne couramment utilisée pour « Stream Reforming ») :



(réaction de type endothermique)

- 10 • - Réaction dite de « gaz à l'eau » ou « WGS » selon la terminologie anglo-saxonne couramment utilisée (pour « Water Gas Shift ») :



(réaction de type endothermique)

[0010] Le mode de production d'hydrogène (H₂) mettant en œuvre l'une ou l'autre
 15 des deux dernières réactions est particulièrement avantageux, car ces réactions sont de type endothermique. Il s'ensuit qu'elles n'induisent pas de pénalité en termes de surconsommation de carburant dans le processus d'obtention de l'hydrogène (H₂). Il est donc intéressant de privilégier ces réactions si l'on désire produire de l'hydrogène (H₂) dans un but de reformage du carburant. Un procédé de contrôle efficace des
 20 réactions chimiques qui se développent dans le reformeur devra donc, ad minima, permettre d'équilibrer la consommation d'énergie de la réaction « PO_x » (3) avec les deux autres réactions ((1) et (2)).

[0011] Un premier intérêt réside donc dans la réduction de la consommation de carburant par dilution massive à l'EGR. On peut citer comme exemple d'application
 25 des moteurs suralimentés à forts taux EGR (injection directe ou indirecte). Cette utilisation massive d'EGR présente un deuxième intérêt, concernant les émissions d'oxydes d'azote (NO_x). En fonctionnement à la stœchiométrie, la réduction massive des émissions d'oxydes d'azote (NO_x) permettra la réduction de la charge en métaux précieux (Rhodium [Rh] notamment) d'un catalyseur trois voies généralement utilisé
 30 dans les moteurs. En mode de fonctionnement dit « mélange pauvre », de types homogène ou stratifié, les « points de fonctionnement moteur » qui génèrent

l'essentiel des oxydes d'azote (charges moyennes) peuvent être obtenus uniquement avec de l'EGR, donc à richesse « 1 ». Le système de traitement des d'oxydes d'azote (NOx) en mélange pauvre (par exemple du type « piège à NOx » ou « SCR » (pour « Selective Catalytic Reduction » ou « Réduction Catalytique Sélective ») peut être
5 allégé, voir supprimé en fonction de l'application précise envisagée.

[0012] Dans l'art connu, il a été proposé de nombreux procédés de reformage, mais ceux-ci ne permettent qu'une solution imparfaite aux problèmes posées, voire très imparfaite.

[0013] On peut citer, de façon non exhaustive, le brevet américain US-A-4 175 523
10 (Masaaki Noguchi et al.) qui propose un moteur à combustion interne muni d'un système EGR et d'un système de reformage catalytique de carburant. Mais ce double système est complexe et encombrant.

[0014] Par contre, dans la demande de brevet français publiée sous le numéro FR 2 880 657 A1, la Demanderesse a proposé une architecture améliorée de circuit EGR
15 autorisant un reformage efficace du carburant. Pour une description plus détaillée de cette invention, on se reportera avec profit à la demande de brevet français précitée, notamment en référence à la figure 2 annexée à cette demande de brevet. Le système EGR comprend, notamment, une vanne de régulation, comme dans le cas du système de la figure 1, mais disposée de façon préférentielle en aval du circuit de
20 recirculation des gaz.

[0015] De façon spécifique, le circuit EGR enseigné par la demande de brevet FR 2 880 657 A1 comprend un reformeur d'hydrogène disposé sur une liaison de recirculation flux gazeux. Le circuit de recirculation EGR autorisant le reformage de carburant par production in situ d'hydrogène, objet de cette demande de brevet
25 français FR 2 880 657 A1 précité atteint bien les buts qu'il s'est fixé. En premier lieu, du fait de cette production d'hydrogène in situ, il n'est pas nécessaire, notamment, de disposer d'un second réservoir de carburant. En outre, le circuit de recirculation EGR associé au circuit de reformage est de conception simplifiée et compacte, contrairement à l'architecture du système enseigné par le brevet américain US-A-
30 4 175 523 précité. Cependant, ce système comporte un inconvénient : il nécessite la

présence d'un dispositif de stockage et de vaporisation d'eau et d'injection de vapeur d'eau.

[0016] Tout au contraire, l'invention propose en premier lieu un circuit de recirculation EGR associé à un système de reformage pour la production d'hydrogène ne
5 nécessitant pas l'injection de vapeur d'eau d'origine externe.

[0017] En outre, le système enseigné par la demande de brevet FR 2 880 657 A1 peut encore être amélioré, tant d'un point de vue bilan thermique que d'un point de vue efficacité en matière de dépollution, ce sans induire un surcroît notable de complexité.

[0018] Enfin et surtout, dans les systèmes conformes à l'art connu, il n'existe pas de
10 système de contrôle optimisé du fonctionnement d'un EGR associé à un dispositif de reformage de carburant, ce qui sera dénommé ci-après « stratégie de contrôle ».

[0019] Ce sont les buts principaux que se fixe l'invention.

[0020] En ce qui concerne le premier point, le circuit de recirculation EGR associé à un système de reformage conforme à l'invention vise à obtenir un catalyseur dit
15 « ATR » selon la terminologie anglo-saxonne couramment utilisée (pour « Auto Thermal Reforming »), c'est-à-dire ne nécessitant aucun apport d'énergie thermique externe. Pour ce faire, selon une caractéristique importante de l'invention, les trois réactions de reformage [(1) à (3)] précédemment mentionnées sont combinées de façon optimale dans le circuit de reformage, de façon à ce que le bilan thermique soit
20 nul, pour le moins tout au plus légèrement endothermique.

[0021] En ce qui concerne le second point, le circuit de recirculation EGR associé à un système de reformage conforme à l'invention permet une augmentation importante du taux de gaz réinjecté par le circuit EGR de façon à ne pratiquement plus générer d'oxydes d'azote (NO_x) à la source. Il s'ensuit, de façon avantageuse, qu'il n'est plus
25 nécessaire de les retraiter, ce contrairement à l'art connu qui nécessite, comme il a été rappelé, la mise en œuvre d'un dispositif additionnel de déstockage des oxydes d'azote (NO_x) : piège à oxydes d'azote (NO_x) ou dispositif similaire. Pour le moins, pour certains modes de fonctionnement critiques, le dimensionnement d'un tel

système est très faible, en tout état de cause bien inférieur à celui nécessité par les systèmes de l'art connu.

[0022] Le circuit de recirculation EGR associé à un système de reformage conforme à l'invention est particulièrement adapté au mode de fonctionnement des moteurs à combustion de type dit « IDE Stratifié », car il permet d'en conserver les avantages (notamment des gains en consommation de carburant très importants), sans en présenter les inconvénients (notamment des performances médiocres en termes de pollution).

[0023] En ce qui concerne le troisième point, le système de contrôle ou stratégie est agencé de telle manière à ce qu'il permette :

- de connaître le débit d'air entrant dans le moteur, la richesse dans le moteur et le débit (ou taux relatif) d'EGR, le système permettant notamment le contrôle de la vanne de régulation EGR, ce grâce à l'implémentation de capteurs spécifiques ;
- le contrôle du catalyseur, en sus de la boucle EGR, ce de nouveau grâce à l'implémentation de capteurs spécifiques ; et
- le contrôle optimisé de la production d'hydrogène en utilisant, en sus d'informations classiques fournis par les systèmes de l'art connu (débit d'air, débit d'EGR et richesse du mélange air/carburant), trois informations spécifiques : la composition en entrée des gaz d'EGR, la température des gaz en entrée du catalyseur et la quantité d'hydrogène en sortie du catalyseur.

[0024] Avantageusement, le reformage nécessitant de l'énergie pour être réalisé, selon l'invention, différentes stratégies sont mises en œuvre et notamment les deux stratégies principales suivantes :

- si les gaz sont froids (typiquement à une température inférieure à 450 °C), afin d'amorcer le catalyseur, le système de contrôle favorise la réaction d'oxydation partielle du carburant (« POx » (1)) en admettant une forte quantité d'air secondaire (ou en recourant à un fonctionnement légèrement pauvre stationnaire ou faiblement transitoire) ; et
- si les gaz sont chauds (typiquement à une température supérieure à 450 °C), le système de contrôle favorise un fonctionnement autotherme du catalyseur en réduisant au maximum les quantités d'air secondaire.

[0025] L'invention a donc pour objet principal un système de contrôle de la production d'hydrogène d'un circuit de re-circulation des gaz d'échappement, dit circuit EGR, du type comprenant un reformeur de carburant, pour un moteur à combustion interne comprenant un collecteur d'échappement, un collecteur d'admission principal d'air et de carburant à base d'essence, et au moins une chambre à combustion disposée entre ces deux collecteurs, le circuit de re-circulation des gaz d'échappement comprenant une liaison de flux gazeux reliant les collecteurs d'échappement et d'admission, de manière à obtenir une re-circulation des gaz d'échappement et, au moins, disposés en cascade sur la liaison de flux gazeux, un module d'injection secondaire d'air et de carburant, le reformeur de carburant produisant l'hydrogène et constituant un système catalytique, et une vanne de régulation du flux gazeux, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour mesurer et/ou acquérir des données représentant le débit d'air entrant dans le moteur, la richesse air/carburant dans le moteur, le débit de gaz recyclé, dit taux relatif d'EGR, la composition des gaz en entrée du circuit d'EGR, la température des gaz en entrée du reformeur de carburant et le débit d'hydrogène en sortie du système catalytique, de manière à contrôler, à partir de ces données la production d'hydrogène par ce reformeur de carburant.

[0026] L'invention concerne aussi un moteur à combustion interne comprenant un tel système.

[0027] L'invention va maintenant être décrite de façon plus détaillée en se référant aux figures annexées, parmi lesquels :

- La figure 1 illustre schématiquement la configuration d'un circuit de recirculation des gaz d'échappement d'un moteur à combustion interne selon l'art connu ;
- la figure 2 illustre schématiquement la configuration d'un circuit de recirculation des gaz d'échappement d'un moteur à combustion interne associé à un système de reformage selon l'invention ;
- la figure 3 est une figure de détail illustrant le positionnement de capteurs spécifiques à l'invention sur le circuit de recirculation des gaz d'échappement de la figure 2 ;

- la figure 4 est un bloc diagramme illustrant schématiquement les principaux composants d'un système de contrôle de la production d'hydrogène optimisant le fonctionnement du circuit de recirculation des gaz d'échappement de la figure 2 ;
- la figure 5 est un diagramme illustrant schématiquement les principaux composants d'un système de contrôle de la quantité d'hydrogène en sortie du catalyseur à l'aide d'une sonde à oxygène ;
- les figures 6A à 6B sont des courbes montrant l'influence de la température mesurée en amont du catalyseur sur le débit d'air secondaire et la richesse du mélange air/carburant, respectivement ; et
- les figures 6C à 6D sont des courbes montrant l'influence de la quantité d'hydrogène circulant en sortie du catalyseur sur le débit de carburant secondaire et le taux d'EGR, respectivement.

[0028] Dans ce qui suit les éléments communs à plusieurs figures portent les mêmes références et ne seront re-décrits qu'en tant que de besoin.

- 15 [0029] La figure 2 illustre très schématiquement un exemple d'architecture de circuit de recirculation EGR, désormais référencé 2, associé à un système de reformage selon un mode de réalisation préféré de l'invention.

- [0030] La configuration du moteur à combustion interne 1 et de ses organes principaux (chambres de combustion 10, collecteur d'admission 11, collecteur d'échappement 12) ne diffèrent en rien, a priori, de celle décrite au regard de la figure 2 de la demande de brevet français FR 2 880 657 A1 précitée, elle-même très semblable, en soi, à celle des moteurs de l'art connu (figure 1). De même, l'architecture du circuit de recirculation EGR 2 associé à un système de reformage 2 est similaire à celle décrite dans cette demande de brevet français, en ce sens qu'elle comprend une liaison 105 de flux gazeux qui s'étend entre le collecteur d'échappement 12 et le collecteur d'admission 11, une vanne 101' de régulation du flux, un reformeur d'hydrogène constituant un système catalytique 3 (ci-après dénommé catalyseur pour simplifier la description) et un module d'injection 4. Enfin, comme précédemment, le circuit EGR 2 peut comprendre un refroidisseur 102 (figure 1, non représenté sur la figure 2) disposé en aval du reformeur 3.

[0031] Les deux premiers éléments, liaison 105 et vanne 101', ainsi que le refroidisseur 102, jouent un rôle semblable aux éléments de la figure 1 (de références 105, 101 et 102, respectivement) et ne nécessitent pas d'être re-décrits en détail.

[0032] Par contre, le reformeur d'hydrogène (catalyseur) 3 et le module d'injection 4 sont spécifiques à la présente invention et leurs structures et leurs modes de fonctionnement particuliers vont être précisés ci-après.

[0033] Le catalyseur 3 est implanté directement au niveau du piquage de la boucle de recirculation 105 sur la partie collecteur d'échappement 12 du moteur, cela afin de conserver au maximum la température des gaz d'échappement. Avantageusement, cette zone amont du catalyseur 3 peut, de plus, être calorifugée. La vanne 101', contrairement à l'art connu (figure 1 : 101) est située en aval du catalyseur 3, afin d'éviter toute détente des gaz ce qui pénaliserait d'autant plus la température.

[0034] En mode de croisière du fonctionnement du moteur 1, le circuit de recirculation 105 de l'EGR 2 permet donc de faire circuler des gaz chauds provenant de l'échappement 12, soit majoritairement de l'azote (N₂), de l'eau (H₂O), du dioxyde de carbone (CO₂), des traces de polluants (CO, HC, NO_x, suies), ainsi que de l'oxygène (O₂).

[0035] Le module d'injection secondaire 4, spécifique à l'invention, permet d'introduire dans le circuit de recirculation 105 de l'EGR 2, en amont du catalyseur 3, un mélange homogène air/carburant sous forme vapeur, typiquement chauffé à 200 °C environ. Pour ce faire, des conduits 40 et 41 amènent au module 4 de l'air secondaire AS et du carburant F, respectivement. De façon connue en soi, ce module comprend des organes classiques nécessaires à la vaporisation de ce mélange et à son injection dans le circuit 105 de l'EGR 2.

[0036] A ce stade, on peut noter que le module 4, contrairement au module similaire décrit dans la demande de brevet FR 2 880 657 A1, ne comprend pas d'amenée d'eau.

[0037] Le module d'injection secondaire 4 conforme à l'invention comprend un injecteur secondaire de carburant 41 connecté au réservoir de carburant du véhicule

(non représenté), une pompe à air AS (non représentée) dont la sortie est constitué par le conduit d'amené d'air 40 et un dispositif de chauffage 42 alimenté en énergie électrique (liaison 420). Ce dispositif de chauffage 42 permet d'élever la température du mélange air/carburant à la température désirée, par exemple 200 °C comme
5 rappelé ci-dessus.

[0038] De façon avantageuse, on peut disposer, à l'intérieur du module 4, un obstacle (non représenté sur la figure 2), par exemple une grille de mélange, qui permet de rendre l'écoulement turbulent, et ainsi favoriser le mélange des différents gaz. La richesse du mélange secondaire est avantageusement adaptée au
10 fonctionnement moteur à l'aide de circuits de contrôle électroniques (non représentés) dont sont pourvus les véhicules modernes, généralement connus sous l'abréviation anglo-saxonne "E.C.U." (pour "Electronic Control Unit").

[0039] Le catalyseur 3 est donc présent dans le conduit 105 de l'EGR 2, et provoque les trois réactions de reformage du carburant précédemment rappelées :

- 15
- Oxydation partielle (POx) (1)
 - Vapo-reformage (STR) (2)
 - Réaction de gaz à l'eau (WGS) (3)

[0040] La première réaction (1) consomme l'oxygène (O₂) contenu dans les gaz d'échappement, ainsi que l'air injecté AS en amont du catalyseur 3, pour produire de
20 l'enthalpie ainsi que de l'hydrogène (H₂) en consommant une partie du carburant injecté. La quantité d'air AS injectée sert ainsi à contrôler l'exotherme de cette première réaction.

[0041] La seconde réaction (2), le vapo-reformage (STR), endothermique, se produit donc en consommant l'énergie dégagée par la première réaction (POx) ainsi que l'eau
25 présente dans les gaz d'échappement, et seulement cette eau. Aucune source d'eau externe n'est nécessaire. Le monoxyde de carbone (CO) produit par cette réaction est converti en hydrogène (H₂) du fait de l'excédent d'eau par réaction de gaz à l'eau (WGS), c'est-à-dire conformément à la troisième réaction (3). L'ensemble des réactions est réalisé de manière endotherme ou au moins autotherme afin de ne pas
30 perdre une partie de l'énergie contenue dans le carburant initial.

[0042] Les catalyseurs favorisant ces réactions sont généralement à base de rhodium (Rh), de palladium (Pd) et/ou de platine (Pt).

[0043] La température d'entrée du catalyseur 3 est principalement comprise entre 300 et 550 °C, avec des pics à 1000 °C.

5 [0044] De façon connue en soi, dans les moteurs de conception récente, divers capteurs (non représentés) sont implémentés dans la boucle EGR 2. Ils permettent classiquement d'acquérir des informations concernant le débit d'air, le débit d'EGR et la richesse air/carburant.

10 [0045] La dernière interface avant le retour au conduit d'admission 11 (figure 3) est constituée par une vanne pilotée 101', qui permet de contrôler le débit de gaz recirculés dans le moteur 1.

[0046] Le circuit « EGR » 2 conforme à l'enseignement de l'invention permet donc :

- 15 • d'utiliser une partie de l'énergie thermique et de la vapeur d'eau contenues dans les gaz d'échappement pour réaliser des réactions de reformage du carburant, principalement par la voie du vapo-reformage « STR » (équation (2), de type endothermique);
- de compléter la génération d'hydrogène (H₂) en faisant appel à la réaction de gaz à l'eau « WGS » (équation (3), également de type endothermique), ce en oxydant le monoxyde de carbone (CO) issu du reformage avec de l'eau (H₂O) injectée à
20 cette occasion, ou résiduelle d'un excès de vapeur d'eau au premier point d'injection ; et
- d'obtenir le complément d'énergie nécessaire à la production d'hydrogène par « STR » (2) et « WGS » (3) en faisant appel à l'Oxydation partielle « POx » (équation (1) de type exothermique) du carburant, ce en injectant une quantité d'air
25 en amont du catalyseur 3.

[0047] Par là, l'invention répond bien aux deux premiers buts qu'elle s'est fixée et qui ont été rappelés dans le préambule de la présente description.

[0048] On va maintenant décrire, par référence aux figures 3 à 6D, un système de contrôle pour obtenir un fonctionnement optimisé d'une architecture d'EGR associée à

un reformeur de carburant conforme à l'invention, ce qui constitue un des aspects essentiel de l'invention. Ce système de contrôle va permettre de définir diverses stratégies en fonction des applications envisagées et des conditions de fonctionnement du moteur 1.

5 [0049] Le contrôle de la boucle EGR 2 (figure 2) est agencé de telle manière que l'on puisse connaître le débit d'air entrant dans le moteur 1, la richesse du mélange air/carburant fourni au le moteur 1 et le débit (ou taux relatif) d'EGR. Pour ce faire, comme déjà signalé, on utilise en premier lieu et classiquement des capteurs déjà présents dans les moteurs de technologie récente.

10 [0050] Le système de contrôle permet notamment le contrôle de la vanne de régulation EGR 101'. Pour ce faire, il est nécessaire d'implémenter de nouveaux capteurs (non représentés sur la figure 2). A titre d'exemple non limitatif, on peut avoir recours à un capteur de position de vanne EGR, à un capteur mesurant la stabilité du régime moteur, à un capteur pression des gaz d'échappement, à une sonde
15 d'oxygène (O₂) placée sur l'admission¹¹, et/ou à un capteur de température des gaz re-circulés.

[0051] Il est nécessaire d'intégrer à ce système de régulation un système additionnel permettant le contrôle du catalyseur 3, en sus du contrôle de la boucle EGR proprement dite. Pour ce faire, un jeu de capteurs supplémentaires est implémenté
20 dans le système EGR 2, comme illustré plus particulièrement par la figure 3 :

- un capteur de température supplémentaire 5 est installé en amont du catalyseur 3 et en aval du module d'injection 4 pour favoriser le contrôle (un capteur de température EGR classique 6 étant positionné en aval de l'échangeur 102 et en amont de la vanne de régulation EGR 101') ; et
- 25 • un capteur d'hydrogène 7 ((H₂) ou une sonde d'oxygène (O₂) proportionnelle) est installé en aval du catalyseur 3, en complément des capteurs classiques, ce qui permet d'ajuster les stratégies de contrôle du reformage et de connaître le vieillissement du catalyseur.
- Le contrôle de la production d'hydrogène (H₂) peut s'obtenir à partir de trois
30 informations spécifiques, en sus des informations classiques sur le débit d'air, le débit d'EGR et la richesse rappelées ci-dessus, à savoir :

- la composition en entrée des gaz d'EGR, par l'intermédiaire d'une sonde lambda d'échappement (non représentée, mais habituellement présente sur tous les conduits d'échappement dans les véhicules de technologie récente) qui permet d'acquérir une information sur la richesse des gaz d'échappement et permet d'ajuster le besoin en air secondaire ;
- la température des gaz en entrée du catalyseur 3 (capteur 5), ce qui permet d'ajuster le besoin en exotherme en entrée du catalyseur 3 (en favorisant l'une ou l'autre des réactions de reformage précitées (1) à (3)), et donc la richesse du mélange secondaire air/carburant ; et
- la quantité d'hydrogène (H₂) en sortie catalyseur 3, ce qui permet d'ajuster les paramètres d'entrée du catalyseur 3 également, mais aussi de connaître les dérives de ce catalyseur 3 (encrassement, vieillissement, etc.) et donc d'ajuster en conséquence les quantités d'EGR réellement admissibles par le moteur 1.

[0052] La figure 4 est un bloc diagramme 200 illustrant schématiquement les principaux composants d'un exemple de système permettant le contrôle précité de la production d'hydrogène (H₂), ce en vue d'optimiser le fonctionnement de l'EGR 2 comprenant un reformeur ou catalyseur 3 selon l'invention.

[0053] De façon plus précise, sur la figure 4, les blocs 201, 203, 204 et 206 du système de contrôle 200 concernant des mesures et/ou des données, les blocs 202 et 205 concernant des paramètres physiques.

[0054] Le bloc 201 comprend des moyens permettant de mesurer ou d'acquérir les données suivantes : position de la pédale d'accélération du véhicule (non représentée) qui détermine directement les données « couple et régime » du moteur 1. Pour ce faire, divers capteurs classiques sont utilisés. Ces capteurs sont présents sur les moteurs de conception récente.

[0055] Le bloc diagramme 202 comprend des moyens fournissant les paramètres suivants, dont les valeurs sont influencées par les données précédemment mesurées : « débit d'air », « débit ou taux relatif d'EGR », « richesse du mélange air/carburant » et le « débit d'hydrogène » (H₂). Les trois premiers paramètres constituent des paramètres classiques comme il a été rappelé. Le contrôle du débit d'hydrogène sera explicité dans ce qui suit plus particulièrement en regards de la description du bloc

diagramme de la figure 5. Le bloc 203 comprend des moyens permettant la mesure de la température en amont du catalyseur 3. Cette mesure est réalisée à l'aide du capteur de température spécifique 6 (figure 3). Le bloc 205 comprend des moyens fournissant le paramètre « richesse air/carburant » en amont du catalyseur 3 (figure 3). Le bloc 206 comprend des moyens permettant la mesure des débits secondaires air/carburant. Il s'agit là encore d'une mesure classique en soi, communément mise en œuvre pour le contrôle d'un circuit EGR selon l'art connu.

[0056] Les mesures et l'acquisition de données s'effectue de façon itérative : bloc 104, schématisé sur la figure 4 par une liaison de rétroaction.

[0057] Les données et mesures acquises par les différents capteurs présents dans le système de contrôle sont transmises à une unité de contrôle électronique 210, plus connue sous l'acronyme « E.C.U. » (pour « Electronic Control Unit »), selon la terminologie anglo-saxonne couramment utilisée. De façon pratique, cette unité de contrôle est constituée par l'un des calculateurs numériques embarqués à programme enregistré dont est muni habituellement un véhicule de technologie récente. Un tel ordinateur est bien connu de l'Homme de métier et sa mise en œuvre dans le cadre de l'invention ne nécessite pas de modifications substantielles. Généralement, il suffit de modifier les programmes préexistants et/ou d'ajouter des routines spécifiques pour qu'une telle unité de contrôle puisse être utilisée dans le cadre de l'invention, ce qui, en soi, est à la portée de l'Homme de Métier. On prévoit éventuellement des circuits d'entrées/sorties spécifiques (schématisés par des liaisons 2100 sur la figure 4) commandant des organes du circuit EGR 2, notamment la vanne 101', et plus particulièrement agissant sur le mode de fonctionnement du catalyseur 3. Ces modifications et/ou ajouts sont également à la portée de l'Homme de Métier.

[0058] L'unité de contrôle 210 stocke les mesures et données dans des moyens de mémoire, ainsi que les paramètres physiques précités.

[0059] En utilisant les données et paramètres acquis et/ou enregistrés, l'unité de contrôle 210 commande la vanne de régulation 101' (figure 3) et la production d'hydrogène (H_2) de façon à obtenir un fonctionnement optimisé de l'EGR, d'une part, et, de façon plus spécifique à l'invention, la production d'hydrogène, d'autre part, ce qui permet un fonctionnement optimisé de l'EGR. Pour ce faire, l'unité de contrôle 210

est munie de circuits d'interface appropriés, classiques en soi, schématisés sur la figure 4 par les liaisons 2100.

[0060] La figure 5 est un bloc diagramme 300 illustrant plus spécifiquement les principaux composants permettant le contrôle de la quantité d'hydrogène en sortie du catalyseur 3. Une première branche comprend les blocs 301 et 303, et une deuxième
5 branche, les blocs 302 et 304. Le bloc 301 comprend des moyens permettant la mesure d'informations disponibles concernant les richesses air/carburant en sortie du moteur 1 (figure 2) et du catalyseur 3 (figure 3), respectivement. Le bloc 303 fournit le paramètre physique « dérive de la sonde 5 » en sortie du catalyseur 3, connu en
10 fonction du taux d'hydrogène (H_2) et de la richesse en sortie du moteur 1. Ce paramètre est enregistré dans les moyens de mémorisation (positions de mémoire) de l'unité de contrôle 210 (figure 4).

[0061] Le bloc 302 comprend des moyens permettant la mesure des conditions régnant en amont du catalyseur 3 : température, débit ou taux relatif EGR, de quantité
15 d'air secondaire et quantité de carburant secondaire. Le bloc 304 comprend des informations enregistrées dans une cartographie indiquant le paramètre physique « quantité théorique d'hydrogène (H_2) ». De façon pratique, cette cartographie est enregistrée dans les moyens de mémorisation (positions de mémoire) de l'unité de contrôle 110. En sortie des blocs 303 et 304, par comparaison (bloc 305), on obtient
20 une information représentant le paramètre physique « nature de l'EGR en sortie du catalyseur 3 » : bloc 306. Le bloc 307 comprend des moyens permettant la mesure d'informations disponibles concernant le débit ou taux relatif EGR et le débit d'air.

[0062] A partir des sorties des deux blocs, 307 et 308, on peut mesurer et contrôler la quantité ou le débit d'hydrogène (H_2) en sortie du catalyseur 3 (bloc 308), ce qui
25 permet, comme indiqué ci-dessus, d'ajuster les paramètres d'entrée du catalyseur 3 et d'en optimiser le fonctionnement

[0063] Cette connaissance permet également de tenir compte des dérives du catalyseur 3 (vieillissements, encrassement). Il devient possible de doser précisément le taux relatif d'EGR réellement admissible par le moteur.

[0064] Comme il a été déjà rappelé, le reformage nécessite de l'énergie pour être réalisé, pour optimiser le fonctionnement du moteur 1, différentes stratégies sont mises en œuvre et notamment les deux stratégies principales suivantes :

- si les gaz d'échappement sont froids (typiquement à une température inférieure à 450 °C), afin d'amorcer le catalyseur 3 (figure 3), le système de contrôle favorise la réaction d'oxydation partielle du carburant (« POx » (1)) en admettant une forte quantité d'air secondaire (ou en recourant à un fonctionnement légèrement pauvre stationnaire ou faiblement transitoire) ; et
- si les gaz sont chauds (typiquement à une température supérieure à 450 °C), le système de contrôle favorise un fonctionnement autotherme du catalyseur 3 en réduisant au maximum les quantités d'air secondaire.

[0065] Les figures 6A et 6B sont des courbes illustrant l'évolution du débit en air secondaire, d'une part, et de la richesse du mélange air/carburant, d'autre part, en fonction de la température (en °C) mesurée en amont du catalyseur 3, à l'aide du capteur de température 5.

[0066] De même, les figures 6C et 6D sont des courbes illustrant l'évolution du débit de carburant secondaire, d'une part, et du taux relatif d'EGR, d'autre part, en fonction du débit d'hydrogène (H₂) mesuré en aval du catalyseur 3, à l'aide du capteur 7.

[0067] La connaissance de ces paramètres permet de définir diverses stratégies de contrôle, et notamment les deux stratégies principales rappelées ci-dessus.

[0068] En effet, on constate sur la courbe de la figure 6A que le débit d'air secondaire diminue rapidement lorsque la température augmente pour atteindre un palier quasi stable, et, inversement, sur la courbe de la figure 6B, que la richesse du mélange air/carburant secondaire augmente très rapidement avec cet accroissement de température, pour atteindre un palier quasi stable.

[0069] De même, on constate sur la courbe de la figure 6C que le débit de carburant secondaire diminue (bien que de façon moins rapide et ne présentant pas de palier) lorsque la température augmente et, inversement, sur la courbe de la figure 6D, que la richesse du mélange air/carburant augmente (également de façon moins rapide et sans palier) avec cet accroissement de température.

[0070] Le reformage nécessite une certaine quantité d'énergie pour être réalisé. Pour ce faire, on peut mettre en œuvre des stratégies adaptées aux situations rencontrées, notamment :

- si les gaz sont froids (typiquement $<450^{\circ}\text{C}$), afin d'amorcer le catalyseur 3, on favorise la l'Oxydation partielle « POx » (équation (3) de type exothermique) en admettant une forte quantité d'air secondaire ; et
- si les gaz sont chauds ($>450^{\circ}\text{C}$), on favorise au contraire un fonctionnement autotherme du catalyseur 3 en réduisant au maximum les quantités d'air secondaire.

[0071] Typiquement, en mettant en œuvre le système de contrôle selon l'invention, la quantité d'air réinjectée permet d'atteindre des concentrations d'oxygène comprises dans une gamme allant de 2 à 5%.

[0072] A la lecture de ce qui précède, on constate aisément que l'invention atteint bien les buts qu'elle s'est fixée. L'invention présente de nombreux avantages qui ont été précédemment énumérés et qu'il est inutile de rappeler en totalité. Le système de contrôle permet notamment, tout à la fois, un fonctionnement optimum du circuit EGR proprement dit, et, selon un des aspects essentiels de l'invention, du système de reformage de carburant (catalyseur). Il permet enfin de définir des stratégies les mieux adaptées à des modes de fonctionnement particuliers du moteur comportant le circuit EGR autorisant le reformage de carburant conforme à l'invention, ce sans nécessiter des modifications importantes de ce circuit EGR, ni des organes d'acquisition de données et de commande (unité de contrôle électronique), ce qui autorise le recours à des technologies bien connues en soi. L'invention n'est toutefois pas limitée aux seuls modes de réalisation et applications décrites en regard des figures 2 à 6D. De même, des exemples numériques précis n'ont été donnés que pour mieux mettre en évidence les caractéristiques essentielles de l'invention et ne résultent que d'un choix technologique, en soi à la portée de l'Homme de Métier. Ils ne sauraient limiter de quelle que manière que ce soit la portée de l'invention.

REVENDEICATIONS

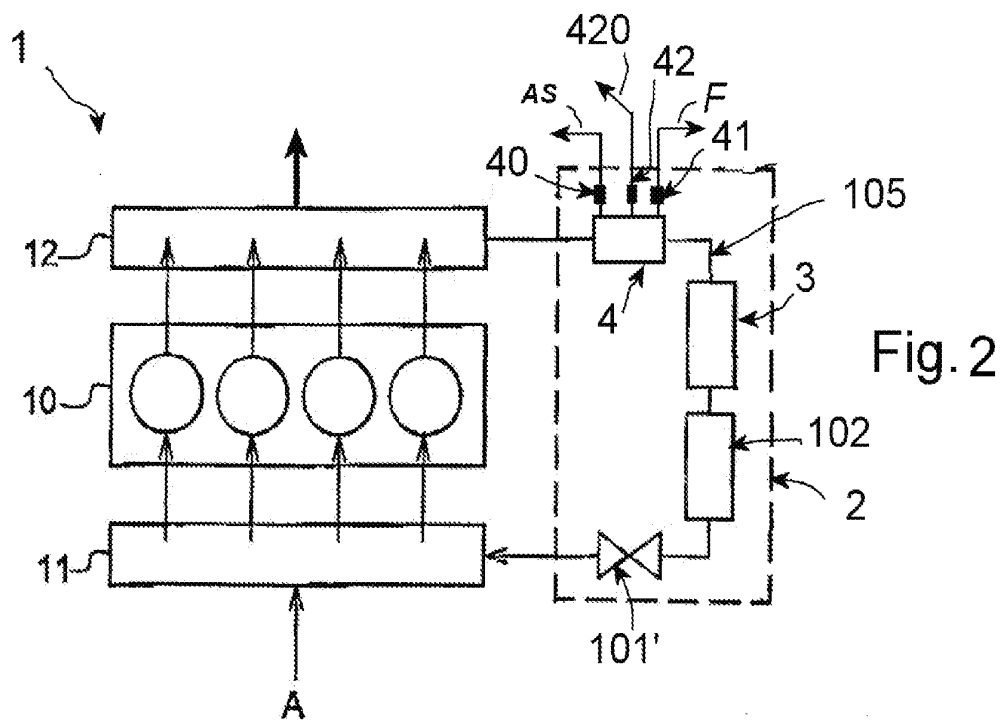
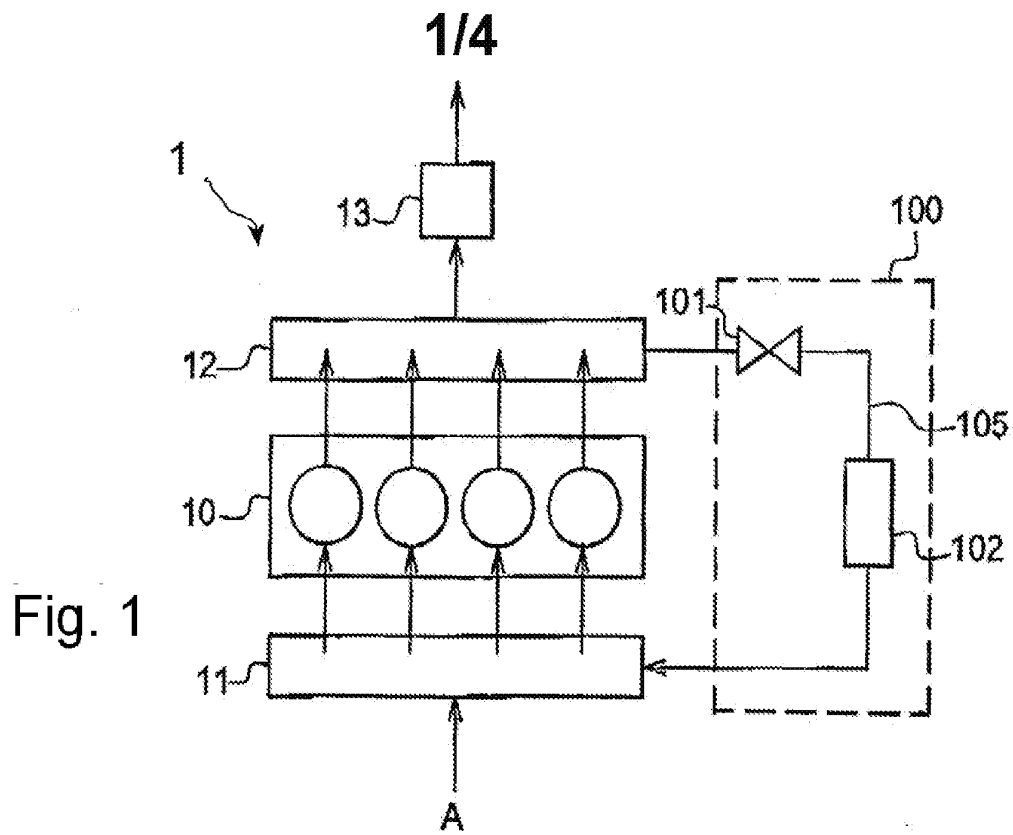
1. Système de contrôle de la production d'hydrogène d'un circuit de recirculation des gaz d'échappement d'un moteur à combustion interne comprenant, disposés en cascade sur la liaison de flux gazeux, un module d'injection secondaire d'air et de carburant, un reformeur de carburant produisant l'hydrogène et constituant un système catalytique, et une vanne de régulation du flux gazeux, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour acquérir des données représentant le débit d'air entrant dans le moteur, la richesse air/carburant dans le moteur, le débit de gaz recyclé, la composition des gaz en entrée du circuit de recirculation des gaz d'échappement (202), la température des gaz en entrée du système catalytique (6) et le débit d'hydrogène (202, 6) en sortie du reformeur de carburant (3), de manière à contrôler, à partir de ces données, la production d'hydrogène par ce reformeur de carburant (3).
2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que la vanne de régulation de flux gazeux (101') est disposée en aval du reformeur de carburant (3).
3. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens pour mesurer et/ou acquérir la composition des gaz en entrée du circuit de recirculation des gaz d'échappement comprennent une sonde lambda disposée sur le collecteur d'échappement (12), de manière à acquérir une information représentative de la richesse de gaz d'échappement et à ajuster les besoins en air secondaire injectée par le module d'injection (4).
4. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens pour mesurer et/ou acquérir la température des gaz en entrée du reformeur de carburant (3) constituant un système catalytique comprennent un capteur de température (6) disposé en amont de ce reformeur de carburant (3).
5. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens pour mesurer et/ou acquérir le débit d'hydrogène en sortie du reformeur de carburant (3) constituant un système catalytique comprennent un capteur d'hydrogène (5) disposé en aval de ce reformeur de carburant (3).

6. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens pour mesurer et/ou acquérir le débit d'hydrogène en sortie du reformeur de carburant (3) comprennent une sonde proportionnelle d'oxygène (5) disposée en aval de ce reformeur de carburant (3).
- 5 7. Système selon la revendication 4, caractérisé en ce que le reformeur de carburant (3) formant système catalytique comprend des moyens pour provoquer une première réaction de reformage du carburant injecté dite d'oxydation partielle du carburant injecté consommant de l'oxygène contenu dans les gaz d'échappement et de l'air injecté (AS) pour produire de l'enthalpie et de l'hydrogène, une deuxième
- 10 réaction de reformage dite de vapo-reformage consommant de l'énergie dégagée par la première réaction et de l'eau présente dans les gaz d'échappement pour produire de l'hydrogène, et une troisième réaction de reformage dite de gaz à l'eau pour produire de l'hydrogène à partir d'un excédant d'eau produit par la réaction de vapo-reformage, les moyens provoquant les trois réactions de reformage étant agencés de
- 15 manière à ce que le bilan thermique cumulé de ces réactions soit endotherme ou autotherme ; et en ce que le système de contrôle (200) comprend des moyens pour ajuster le besoin exotherme de la première réaction à partir de la température mesurée par le capteur de température (6) disposé en amont du reformeur de carburant (3), en ajustant la richesse du mélange secondaire air/carburant (AS, F).
- 20 8. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que la température étant inférieure à un seuil déterminé, il comprend des moyens pour augmenter l'importance de la première réaction de reformage par rapport aux deux autres réactions de reformage en accroissant la quantité d'air secondaire (AS) injectée par le module d'injection secondaire (4) d'air (AS) et de carburant (F).
- 25 9. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que la température étant supérieure à un seuil déterminé, il comprend des moyens pour favoriser le fonctionnement autotherme du reformeur de carburant (3) en diminuant la quantité d'air secondaire (AS) injectée par le module d'injection secondaire (4) d'air (AS) et de carburant (F).
- 30 10. Système selon les revendications 8 ou 9, caractérisé en ce que le seuil de température est égal à 450 °C.

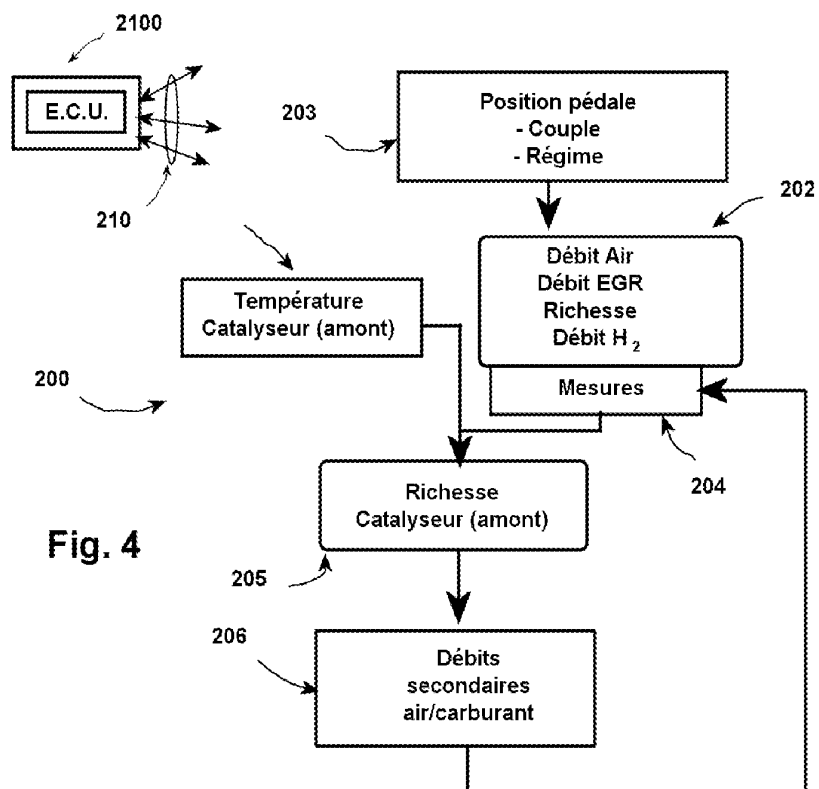
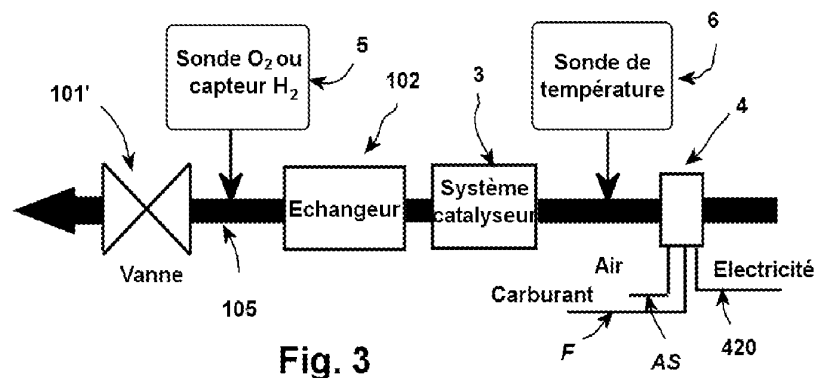
11. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que le reformeur (3) est constitué de matériaux à base de rhodium, de palladium ou de platine.

12. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que le module d'injection secondaire (4) d'air (*AS*) et de carburant (*F*) comprend un injecteur de carburant (41),
5 une pompe à air (40), agencés pour obtenir un mélange homogène air/carburant, et un dispositif de chauffage (42) alimenté en énergie électrique (420) pour vaporiser le mélange air/carburant (*AS*, *F*) avant injection dans la liaison de flux gazeux (105).

13. Moteur à combustion interne comprenant un collecteur d'échappement, un collecteur d'admission principal d'air et de carburant à base d'essence, et au moins
10 une chambre à combustion disposée entre ces deux collecteurs, le circuit de recirculation des gaz d'échappement comprenant une liaison de flux gazeux reliant les collecteurs d'échappement et d'admission, de manière à obtenir une recirculation des gaz d'échappement et, au moins, disposés en cascade sur la liaison de flux gazeux, un module d'injection secondaire d'air et de carburant, un reformeur de
15 carburant produisant de l'hydrogène et constituant un système catalytique, et une vanne de régulation du flux gazeux, caractérisé en ce qu'il comprend un système de contrôle (200) de production d'hydrogène par le reformeur de carburant (3) selon l'une quelconque des revendications précédentes.



2/4



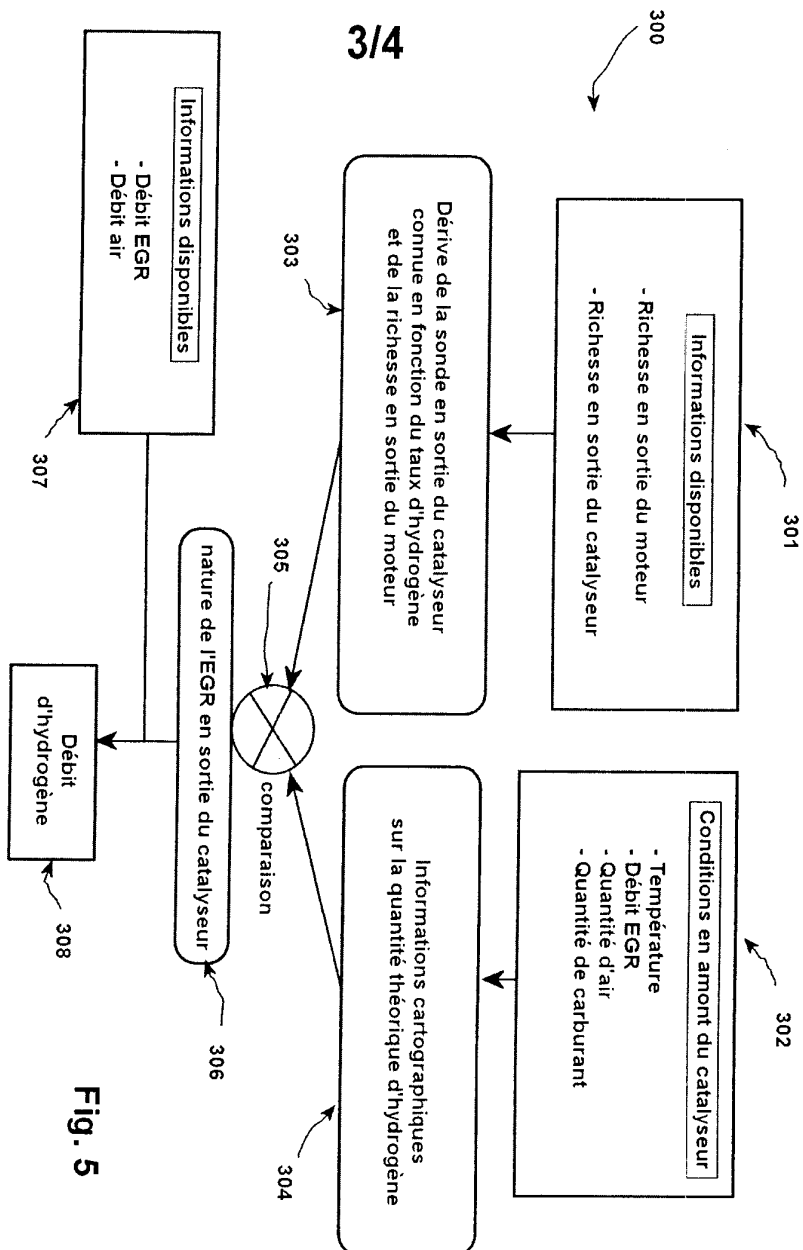


Fig. 5

4/4

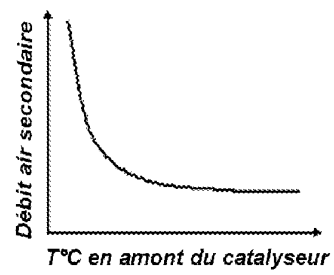


Fig. 6A

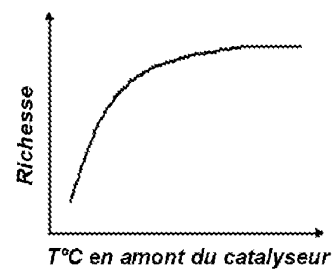


Fig. 6B

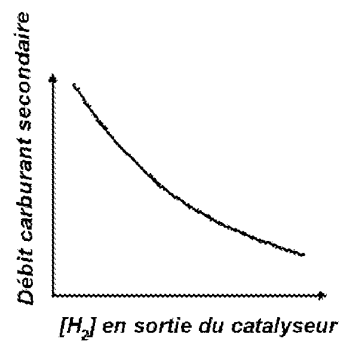


Fig. 6C

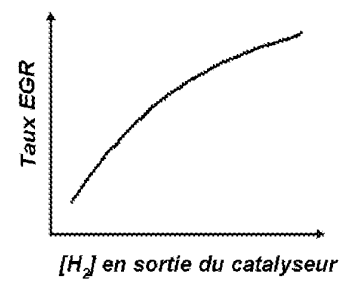


Fig. 6D



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 705286
FR 0851615

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	EP 0 159 834 A (JAGUAR CARS [GB]) 30 octobre 1985 (1985-10-30) * page 1, ligne 20 - page 5, ligne 23; figures * -----	1-13	F02D19/00 F02D21/08 F02D19/06 F01N5/02
A	WO 2007/027327 A (SOUTHWEST RES INST [US]) 8 mars 2007 (2007-03-08) * page 2, ligne 20-29 - page 4, ligne 18-25; figures *	1-13	
A	US 2003/167768 A1 (CLAWSON) 11 septembre 2003 (2003-09-11) * alinéas [0007] - [0022]; figures *	1-13	
A	US 2005/224042 A1 (SHINAGAWA) 13 octobre 2005 (2005-10-13) * alinéas [0012], [0013]; figures * -----	1-13	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			F02M F02D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
7 octobre 2008		Vedoato, Luca	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE**RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0851615 FA 705286**

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 **07-10-2008**

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
EP 0159834	A	30-10-1985	DE 3563093 D1	07-07-1988
			GB 2161212 A	08-01-1986
			JP 1861893 C	08-08-1994
			JP 5079822 B	04-11-1993
			JP 60230556 A	16-11-1985
			US 4735186 A	05-04-1988

WO 2007027327	A	08-03-2007	AUCUN	

US 2003167768	A1	11-09-2003	US 2005217268 A1	06-10-2005

US 2005224042	A1	13-10-2005	CN 1683775 A	19-10-2005
			DE 102005016565 A1	01-12-2005
			JP 4033163 B2	16-01-2008
			JP 2005299501 A	27-10-2005
