

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 880 657

05 00253

⑤¹ Int Cl⁸: F 02 M 25/07 (2006.01), F 02 M 25/032, 25/12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 11.01.05.

③③ **Priorité :**

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

⑦² Inventeur(s) : PAJOT OLIVIER.

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 14.07.06 Bulletin 06/28.

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

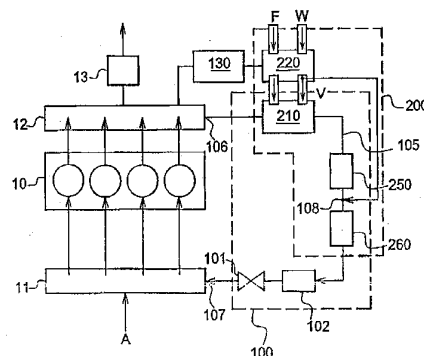
⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : CABINET HIRSCH POCHART ET ASSOCIES.

(54) CIRCUIT DE RECIRCULATION DES GAZ D'ECHAPPEMENT.

57 Un circuit de recirculation (100) des gaz d'échappement d'un moteur à combustion interne, comprend une liaison de flux gazeux (105) adaptée à s'étendre entre un collecteur d'échappement (12) et un collecteur d'admission d'air (11) d'une chambre de combustion (10) du moteur. Le circuit de recirculation comprend un reformeur d'hydrogène (200) disposé sur la liaison de flux gazeux.



FR 2 880 657 - A1



CIRCUIT DE RECIRCULATION DES GAZ D'ÉCHAPPEMENT

La présente invention concerne un circuit de recirculation des gaz d'échappement. Un tel circuit peut être utilisé dans un moteur à combustion interne, tel qu'un moteur de véhicule automobile.

Dans un moteur à combustion interne, les quatre temps du cycle thermodynamique – admission de gaz combustible et d'air, compression du mélange gazeux, détente due à l'explosion du mélange, échappement – se déroulent successivement dans une seule et même enceinte, dite chambre de combustion. Les gaz introduits dans cette chambre de combustion sont constitués d'une part d'air et d'autre part d'essence ou de gasoil, selon des proportions dosées de manière adéquate selon les moteurs et les systèmes d'allumage utilisés. Le mélange gazeux est alors enflammé dans la chambre de combustion.

Il est connu, pour des moteurs à allumage commandé et à allumage par compression, de faire re-circuler les gaz d'échappement vers l'admission d'air de la chambre de combustion pour réduire les émissions d'oxydes d'azote (NO_x). Un tel système est connu sous l'acronyme anglo-saxon de EGR pour « Exhaust Gas Recirculation ».

La figure 1 illustre schématiquement le principe d'un système EGR. Un moteur à combustion interne 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, 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 à traiter les fumées avant leur expulsion vers l'atmosphère extérieure, de façon connue en soi.

La figure 1 montre aussi un circuit de recirculation des gaz d'échappement 100. Ce circuit EGR 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 et cause des à coups à l'accélération, alors qu'un débit trop faible entraîne une surémission d'oxydes d'azote.

Le circuit de recirculation 100 comporte aussi un refroidisseur 102, tel qu'un échangeur thermique à tubes échangeant avec le liquide de refroidissement du

moteur, afin de ne pas introduire des gaz trop chauds dans la chambre de combustion 10, ce qui entraînerait une perte de rendement volumétrique.

Les systèmes EGR ont été introduits dans les années 70 pour réduire les émissions d'oxyde d'azote formées lorsque la température dans la chambre de combustion devient trop élevée. Au-delà de 1300°C environ, les atomes d'azote et d'oxygène peuvent se combiner entre eux dans la chambre de combustion pour former des molécules d'oxyde d'azote (NO_x) qui, combinées avec des molécules hydrocarbonées (HC_x) en présence de soleil, produisent un brouillard polluant, connu sous le terme de « smog ».

La quantité d'oxyde d'azote peut être réduite en réduisant la température de combustion, en particulier en faisant recirculer des gaz d'échappement dans la chambre de combustion. En effet, les gaz d'échappement ont déjà brûlé et sont riches en di-azote (N_2) et en dioxyde de carbone (CO_2). Les gaz d'échappement recirculés diluent donc la charge combustible, ce qui entraîne un ralentissement et un refroidissement de la combustion.

Cependant, la re-circulation des gaz d'échappement produit une augmentation des émissions de produits carbonés, comme les hydrocarbures imbrûlés (HC) et le monoxyde de carbone (CO), ou des particules (PM, pour Particle Matter en anglais).

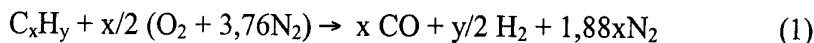
Pour pallier cet inconvénient, il a été montré qu'une adjonction de gaz riche en hydrogène (H_2) dans le collecteur d'admission de la chambre de combustion, lors d'une recirculation des gaz d'échappement, permet de réduire les émissions d'hydrocarbures imbrûlés (HC), de monoxyde de carbone (CO) et de suies.

Le document US-A-4 175 523 propose un moteur à combustion interne avec un système EGR et un système de reformage catalytique du carburant. Lorsque le moteur tourne à bas régime, la chambre de combustion reçoit seulement le mélange air/carburant et la recirculation des gaz d'échappement. Pendant le fonctionnement à bas régime, le système EGR est bridé, c'est-à-dire qu'il ne peut fournir qu'un débit de gaz d'échappement recirculés limité à une valeur prédéterminée. Lorsque le moteur tourne à haut régime le carburant reformé, riche en hydrogènes libres, est ajouté au mélange air/carburant et à la recirculation des gaz d'échappement. Pendant le fonctionnement à haut régime, le système EGR fournit un débit de gaz d'échappement recirculés supérieur à ladite valeur prédéterminée.

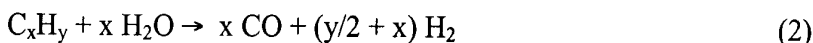
Le rendement de puissance du moteur est ainsi amélioré tout en limitant les émissions de produits carbonés.

De manière connue en soit, le reformage du carburant est obtenu en faisant réagir des molécules de carburant avec de l'eau et/ou de l'air pour produire de l'hydrogène, selon les réactions chimiques suivantes :

- reformage par oxydation partielle du carburant (composition C_xH_y) avec de l'air ($O_2 + 3,76N_2$), le carburant étant introduit sous forme de vapeur :



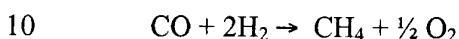
- 5 - vapo-reformage du carburant (C_xH_y) avec de la vapeur d'eau (H_2O) :



- réaction de gaz à l'eau, dite « Water Gas Shift reaction » :



En évitant la réaction de méthanisation, consommatrice d'hydrogène



Cette réaction de méthanisation peut être évitée en favorisant la réaction de gaz à l'eau qui élimine le CO, par exemple en se plaçant en excès d'eau.

La réaction de reformage la plus efficace pour produire de l'hydrogène est la réaction de vapo-reformage qui présente le rendement le plus élevé. Cette réaction de
15 vapo-reformage est favorisée par des températures élevées et un excès de vapeur d'eau.

Ainsi, le document FR-A-2 839 583 décrit une installation de pile à combustible pour un véhicule automobile comprenant, en plus du moteur à combustion interne, une pile à combustible fonctionnant avec un fluide contenant de
20 l'hydrogène. L'hydrogène nécessaire au bon fonctionnement de la pile à combustible est généré de façon embarquée sur le véhicule, à l'aide d'un reformeur. Le reformeur est adapté à fournir un fluide enrichi en hydrogène à partir d'un mélange contenant des hydrocarbures.

Le document FR-A-2 839 583 propose de placer un échangeur de chaleur sur la
25 conduite des gaz d'échappement du moteur à combustion interne pour chauffer un fluide caloporteur destiné à chauffer le reformeur. L'énergie thermique nécessaire à une réaction optimale de reformage est donc fournie par la chaleur des gaz d'échappement.

Ce document FR-A-2 839 583 ne décrit cependant aucun système EGR associé
30 au moteur à combustion interne.

Par ailleurs, le double système d'EGR et de reformage du carburant décrit dans le document US-A-4 175 523 précité est complexe et encombrant. En effet, les deux systèmes comportent des circuits de flux gazeux distincts l'un de l'autre. En particulier, le gaz reformé riche en hydrogène est stocké dans un réservoir et
35 introduit dans le collecteur d'admission de la chambre de combustion seulement lorsque le moteur dépasse un certain régime, alors que les gaz d'échappement sont recirculés dans la chambre de combustion quel que soit le régime de fonctionnement du moteur.

Il existe donc un besoin pour un circuit de recirculation associé à un circuit de reformage de carburant qui soit de conception simplifié et plus compact.

A cet effet, l'invention propose un circuit de recirculation des gaz d'échappement d'un moteur à combustion interne, comprenant :

- 5 - une liaison de flux gazeux adaptée à s'étendre entre un collecteur d'échappement et un collecteur d'admission d'air d'une chambre de combustion du moteur ;
- un reformeur d'hydrogène disposé sur la liaison de flux gazeux.
- 10 Selon les modes de réalisation, le circuit de recirculation selon l'invention présente en outre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :
- la liaison de flux gazeux présente une entrée constituée par une dérivation du collecteur d'échappement ;
- la liaison de flux gazeux présente une sortie comprenant une vanne de régulation du flux ;
- 15 - le circuit comprend un refroidisseur disposé en aval du reformeur ;
- le reformeur comprend un mélangeur adapté à recevoir le flux gazeux, une injection de carburant et une injection d'eau ; et au moins un premier module catalytique adapté à provoquer une réaction de reformage du carburant ;
- 20 - le reformeur comprend en outre un évaporateur adapté à recevoir une injection de carburant et une injection d'eau et adapté à fournir au mélangeur le carburant et l'eau sous forme de vapeurs ;
- le circuit comprend un échangeur de chaleur adapté à chauffer l'évaporateur, ledit échangeur comprenant des conduites de circulation d'un fluide caloporteur constitué au moins en partie par le flux gazeux ;
- 25 - le circuit présente un obstacle disposé sur la liaison de flux gazeux en amont du premier module catalytique ;
- le mélangeur est adapté à recevoir en outre une injection d'air ;
- le reformeur comprend en outre un second module catalytique adapté à provoquer une réaction de gaz à l'eau ;
- 30 - la liaison de flux gazeux présente une entrée de vapeur d'eau située entre le premier et le second module catalytique ;
- le premier module catalytique comprend au moins un parmi les catalyseurs du groupe : Ru, W, Rh, Ir, Ni, Co, Os, Pt, Fe, Mo, Pd, Ag ;
- 35 - le second module catalytique comprend un premier pain catalytique comprenant au moins un parmi les catalyseurs du groupe : Pt, Fe₂O₃, FeCr ; et un second pain catalytique comprenant au moins un parmi les catalyseurs du groupe : Pt, CuO/ZnO ;

L'invention concerne aussi un moteur à combustion interne comprenant :

- une chambre de combustion ;
- un collecteur d'admission d'air ;
- un collecteur d'échappement ;
- 5 - un circuit de recirculation selon l'invention.

Selon les modes de réalisation, le moteur selon l'invention présente en outre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- des moyens adaptés à prélever une partie de l'hydrogène produit par le reformeur du circuit de recirculation ;
- 10 - une pile à combustible alimentée au moins en partie par de l'hydrogène prélevé du circuit de recirculation ;
- un module de post-combustion à l'échappement adapté à être chauffé par une alimentation en hydrogène prélevé du circuit de recirculation ;
- des pièges à oxyde d'azote (NOx) à l'échappement, lesdits pièges étant
15 adaptés à être régénérés au moins en partie par de l'hydrogène prélevé du circuit de recirculation ;
- une unité de contrôle adaptée à commander une vanne de régulation du flux gazeux dans le circuit de recirculation ;
- l'unité de contrôle est adaptée à réguler une injection de carburant et
20 une injection d'eau dans le reformeur du circuit de recirculation ;
- l'unité de contrôle est adaptée à réguler une injection d'air dans le reformeur du circuit de recirculation ;

L'invention s'applique à des véhicules automobiles comprenant un moteur selon l'invention.

25

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit des modes de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemple uniquement et en références aux dessins qui montrent :

- figure 1, déjà décrite, un schéma d'un circuit de recirculation des gaz
30 d'échappement selon l'art antérieur ;
- figure 2, un schéma d'un circuit de recirculation des gaz d'échappement selon l'invention.

Le circuit de recirculation des gaz d'échappement selon l'invention comprend
35 une liaison de flux gazeux adaptée à s'étendre entre un collecteur d'échappement et un collecteur d'admission d'air d'une chambre de combustion d'un moteur. Le circuit de recirculation comprend aussi un reformeur d'hydrogène disposé sur la liaison de flux gazeux.

Ainsi, le circuit EGR fournit au collecteur d'admission d'air de la chambre de combustion un gaz de re-circulation enrichi en hydrogène. L'enrichissement en hydrogène du mélange gazeux fourni au collecteur d'admission d'air ne provient pas d'un système distinct du circuit EGR, mais du circuit EGR lui-même. Un système
5 EGR amélioré est ainsi fourni par la présente invention.

Le circuit de recirculation selon l'invention est décrit en référence à la figure 2.

Les éléments identiques à ceux illustrés sur la figure 1 portent les mêmes numéros de référence.

En particulier, la figure 2 montre une chambre de combustion 10 située entre
10 un collecteur d'admission 11 et un collecteur d'échappement 12 ; un catalyseur d'échappement 13; une entrée d'air A.

La figure 2 montre aussi le circuit de recirculation des gaz d'échappement. Ce circuit EGR comprend une liaison 105 de flux gazeux qui s'étend entre le collecteur d'échappement 12 et le collecteur d'admission 11. La liaison de flux gazeux 105
15 présente une entrée 106 constituée par une simple dérivation du collecteur d'échappement 12. En particulier, aucune vanne de régulation n'est prévue en entrée 106 de la liaison de flux gazeux car on cherche à conserver un maximum de chaleur dans la liaison. La liaison de flux gazeux présente une sortie 107 qui comprend une vanne 101 de régulation du flux. Le contrôle du débit des gaz recirculés dans la
20 chambre de combustion 10 est assuré en fin de liaison.

En effet, le circuit de recirculation selon l'invention comprend en outre un reformeur d'hydrogène 200 disposé sur la liaison 105 de flux gazeux. Or, pour une efficacité optimale de reformage du carburant en hydrogène, il est nécessaire de conduire les réactions chimiques de reformage à température élevée. Ainsi, les gaz
25 d'échappement chauds prélevés à l'entrée 106 de la liaison de flux gazeux ne doivent pas être refroidis avant d'avoir traversé le reformeur 200. Toute vanne de régulation, qui introduirait une détente adiabatique du flux gazeux, est donc proscrite à l'entrée 106 de la liaison.

Le circuit EGR selon l'invention peut comprendre un refroidisseur 102 disposé
30 en aval du reformeur 200. La réaction de vapo-reformage étant fortement endothermique, le flux gazeux peut être considérablement refroidi en sortie du reformeur. Un refroidisseur peut néanmoins être prévu, éventuellement dimensionné pour une efficacité de refroidissement moindre que celui de la figure 1 de l'art antérieur.

35 Le reformeur 200 comprend un mélangeur 210 qui reçoit le flux gazeux circulant dans la liaison 105, c'est-à-dire des gaz chauds provenant de l'échappement de la chambre de combustion, soit majoritairement de l'eau (H₂O), du dioxyde de

carbone (CO_2), des traces de polluants (CO , HC , suies, NO_x) et de l'air ($\text{O}_2 + 3,76\text{N}_2$) si la combustion était en excès d'air.

Le reformeur 200 comprend aussi un système d'injection permettant d'introduire dans le mélangeur 210 du carburant finement atomisé F et de l'eau W. Il est préférable que le carburant F et l'eau W soient injectés dans le mélangeur sous forme de vapeurs. Ainsi, le carburant et l'eau peuvent être injectés sous forme liquide, qui est la forme sous laquelle ils sont stockés, dans un évaporateur 220 couplé au mélangeur 210 pour lui fournir le carburant et l'eau sous forme de vapeurs. A cet effet, un échangeur de chaleur 130 peut être prévu pour chauffer l'évaporateur 220. Cet échangeur 130 peut comprendre des conduites faisant circuler une partie du gaz dérivé de l'échappement en entrée 106 de la liaison. A ce niveau de la liaison, le gaz est très chaud, de l'ordre de 400 à 500°C, et peut servir en tout ou partie de fluide caloporteur pour chauffer l'évaporateur 220 afin de vaporiser l'eau et le carburant à injecter dans le mélangeur 210.

Le reformeur 200 comprend également au moins un premier module catalytique 250 adapté à provoquer une réaction de vapo-reformage du carburant. Un obstacle peut être disposé sur la liaison de flux gazeux 105 en amont du premier module catalytique 250 pour rendre l'écoulement du flux gazeux turbulent et favoriser ainsi le mélange des gaz. En particulier, l'obstacle peut être placé en amont du mélangeur 210 pour rendre turbulent le flux gazeux des gaz d'échappement prélevés entrant dans le mélangeur, cette turbulence étant suffisante pour mélanger le flux gazeux avec les vapeurs de carburant et d'eau injectées dans le mélangeur.

Le premier module catalytique 250 comprend un pain catalytique maintenu à une température comprise entre 600°C et 1000°C, de préférence entre 800°C et 850°C et adapté à provoquer une réaction de vapo-reformage selon l'équation (2) précédemment mentionnée. Les catalyseurs favorisant la réaction de vapo-reformage sont, selon un ordre décroissant d'efficacité, Ru, W, Rh, Ir, Ni, Co, Os, Pt, Fe, Mo, Pd, Ag.

Le reformeur 200 peut aussi comprendre un second module catalytique 260 adapté à provoquer une réaction de gaz à l'eau selon la réaction (3) précédemment mentionnée. La vapeur d'eau nécessaire à cette seconde réaction de reformage peut provenir d'un excès de vapeur d'eau introduite dans le mélangeur ou peut venir d'une nouvelle injection de vapeur d'eau prélevée au niveau de l'évaporateur 220. La liaison de flux gazeux 105 peut alors présenter une entrée de vapeur d'eau 108 située entre le premier et le second module catalytique 250, 260.

La réaction du gaz à l'eau s'effectue en deux étapes. Une première étape comporte une réaction se déroulant à haute température, de l'ordre de 450°C avec un premier pain catalytique comprenant au moins un parmi les catalyseurs du groupe :

Pt, Fe₂O₃, FeCr. Une seconde étape comporte une réaction se déroulant à basse température, de l'ordre de 220°C avec un second pain catalytique comprenant au moins un parmi les catalyseurs du groupe : Pt, CuO/ZnO.

Le circuit EGR selon l'invention fonctionne de la manière suivante.

5 Une partie des gaz issus de l'échappement de la chambre de combustion 10 sont dérivés dans une liaison 105 de circuit EGR permettant la recirculation des gaz d'échappement vers le collecteur d'admission de la chambre de combustion.

Une unité de contrôle (non illustrée) du reformeur 200 est prévue. Cette unité de contrôle est généralement reliée à une unité de contrôle du régime moteur et en particulier à une unité de contrôle adaptée à commander la vanne de régulation du flux gazeux dans le circuit de recirculation. Cette vanne détermine la quantité de gaz d'échappement recirculés introduits dans le collecteur d'admission de la chambre de combustion. Or, la quantité de gaz recirculés déterminera la quantité de mélange gazeux enrichis en hydrogène à ajouter, c'est-à-dire la quantité de carburant à reformer.

15 L'unité de contrôle commande aussi l'injection d'eau et de carburant dans le mélangeur 210 afin de fournir les ingrédients nécessaires à la réaction de vapo-reformage dans le premier module catalytique 250. Les gaz d'échappement sont également introduits dans le mélangeur 210 puis traversent le premier module catalytique 250; l'énergie thermique des gaz d'échappement est ainsi utilisée pour permettre un rendement optimum de la réaction de reformage du carburant.

L'unité de contrôle commande également l'injection de vapeur d'eau en amont du second module catalytique 260 afin de compléter la génération d'hydrogène en oxydant le monoxyde de carbone issu du vapo-reformage.

25 Les gaz prélevés du collecteur d'échappement 12 circulent donc dans le reformeur 200. Ces gaz d'échappement se mélangent aux injections de carburant et d'eau pour former les ingrédients nécessaires aux réactions de reformage afin de fournir un gaz d'échappement directement enrichi en hydrogène.

Il faut noter que pour contrôler la composition des gaz à l'entrée du circuit EGR, le système d'injection du moteur devra présenter de réglages dédiés. En particulier, la quantité d'oxygène présente dans le circuit EGR dépend de la combustion dans le moteur, c'est-à-dire si elle est en excès ou pas. Une injection de carburant tardive dans le cycle peut aussi être employée pour augmenter la température des gaz d'échappement et ainsi les niveaux de température dans le circuit EGR. On pourra aussi injecter du carburant pendant la phase d'échappement du cycle moteur pour produire un enrichissement en carburant du circuit EGR et donc du mélange introduit dans le reformeur.

De plus, les gaz d'échappement apportent l'énergie thermique nécessaire au bon déroulement des réactions de reformage.

En effet, la réaction de vapo-reformage est fortement endothermique. Il est donc nécessaire que les gaz d'échappement soient suffisamment chauds pour garantir la réaction. Cette contrainte implique que le reformeur placé sur la liaison d'EGR ne peut fonctionner que lorsque le moteur est suffisamment chaud, l'unité de contrôle empêchant l'injection de carburant et d'eau tant que le moteur n'a pas atteint une température prédéterminée.

Pour pallier cet inconvénient, il est possible de favoriser une réaction de reformage par oxydation partielle dans le reformeur selon la réaction (1) précédemment mentionnée, cette réaction étant exothermique. A cet effet, il faut alors prévoir un système permettant d'insuffler de l'air dans le mélangeur avant l'injection du carburant et de l'eau, par exemple une pompe à air électrique. Un système d'initiation de la réaction d'oxydation partielle doit également être prévu en amont du premier module catalytique, par exemple une bougie d'allumage. On peut aussi choisir un catalyseur suffisamment réactif dans le premier module, comme du Platine (Pt). La pompe à air et la bougie d'allumage peuvent être commandées par l'unité de contrôle.

Ainsi, avec une injection d'air dans le reformeur, il est alors possible de produire de l'hydrogène à tout instant du fonctionnement moteur, y compris lorsque le moteur est encore froid. Le reformeur est alors thermiquement autonome. L'énergie thermique nécessaire à la réaction de vapo-reformage est apportée par la réaction d'oxydation partielle.

En fonctionnement normal du moteur, l'injection d'air peut aussi permettre de contrôler les niveaux de température dans le circuit EGR, en particulier lorsque l'énergie thermique des gaz d'échappement n'est pas suffisante. La réaction de reformage par oxydation partielle étant cependant moins efficace que la réaction de vapo-reformage, on privilégiera cette dernière en ajustant le débit d'air insufflé dans le mélangeur à son strict minimum.

Il est ainsi possible de faire fonctionner des organes du moteur alimentés par cette production d'hydrogène, comme par exemple le réchauffage des organes de post-traitement des gaz d'échappement pour les amener à une température nominale avant le démarrage du moteur ou l'alimentation de pièges à oxyde d'azote (NOx) à l'échappement, lesdits pièges étant adaptés à être régénéré au moins en partie par de l'hydrogène.

A cet effet, un système de prélèvement de l'hydrogène fourni par le reformeur, hors du circuit EGR, peut être prévu. Par exemple, le prélèvement peut être effectué au niveau de la vanne de régulation 101 qui dirige alors le flux réformé, dit réformat,

soit dans le collecteur d'admission du moteur 11, soit dans un circuit secondaire dans le véhicule où le reformat sera utilisé par d'autres organes.

- 5 L'hydrogène prélevé du reformeur hors du circuit EGR peut être utilisé à d'autres fins, comme par exemple une alimentation de pile à combustible assurant l'alimentation électrique des accessoires du véhicule.

L'introduction de gaz recirculés enrichis en hydrogène permet notamment un fonctionnement du moteur avec des niveaux d'EGR importants tout en réduisant les émissions d'oxyde d'azote et en maintenant les niveaux relativement bas d'émission de produits carbonés (CO, HC) et de particules.

- 10 Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits à titre d'exemple; ainsi, les réglages d'injection de carburant, eau, air et quantité de gaz recirculés sont déterminés par un homme du métier selon les applications envisagées.

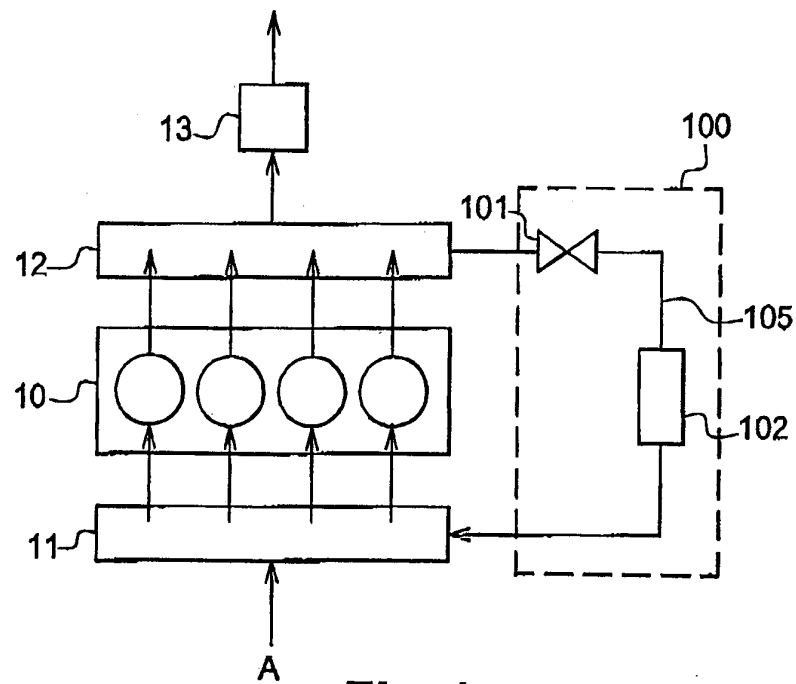
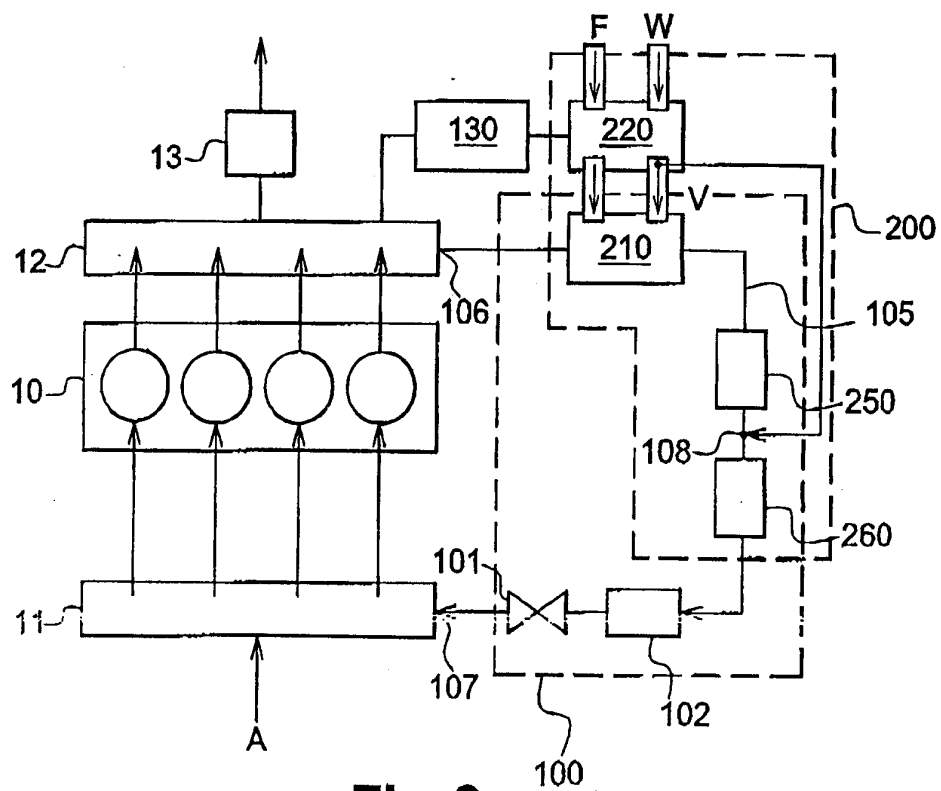
REVENDICATIONS

1. Circuit de recirculation (100) des gaz d'échappement d'un moteur à combustion interne, comprenant :
 - 5 - une liaison de flux gazeux (105) adaptée à s'étendre entre un collecteur d'échappement (12) et un collecteur d'admission d'air (11) d'une chambre de combustion (10) du moteur ;
 - un reformeur d'hydrogène (200) disposé sur la liaison de flux gazeux.
- 10 2. Circuit de recirculation selon la revendication 1, caractérisé en ce que la liaison de flux gazeux (105) présente une entrée (106) constituée par une dérivation du collecteur d'échappement (12).
3. Circuit de recirculation selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la liaison de flux gazeux (105) présente une sortie (107) comprenant une vanne (101) de régulation du flux.
- 15 4. Circuit de recirculation selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comprend un refroidisseur (102) disposé en aval du reformeur.
5. Circuit de recirculation selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le reformeur (200) comprend :
 - 20 - un mélangeur (210) adapté à recevoir le flux gazeux, une injection de carburant (F) et une injection d'eau (W) ;
 - au moins un premier module catalytique (250) adapté à provoquer une réaction de reformage du carburant.
- 25 6. Circuit de recirculation selon la revendication 5, caractérisé en ce que le reformeur (200) comprend en outre un évaporateur (220) adapté à recevoir une injection de carburant (F) et une injection d'eau (W) et adapté à fournir au mélangeur (210) le carburant et l'eau sous forme de vapeurs (V).
- 30 7. Circuit de recirculation selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend un échangeur de chaleur (130) adapté à chauffer l'évaporateur (220), ledit échangeur (130) comprenant des conduites de circulation d'un fluide caloporteur constitué au moins en partie par le flux gazeux.

8. Circuit de recirculation selon l'une des revendications 5 à 7, caractérisé en ce qu'il présente un obstacle disposé sur la liaison de flux gazeux en amont du premier module catalytique (250).
9. Circuit de recirculation selon l'une des revendications 5 à 8, caractérisé en ce que le mélangeur (210) est adapté à recevoir en outre une injection d'air.
10. Circuit de recirculation selon l'une des revendications 5 à 9, caractérisé en ce que le reformeur (200) comprend en outre un second module catalytique (260) adapté à provoquer une réaction de gaz à l'eau.
11. Circuit de recirculation selon l'une des revendications 5 à 9, caractérisé en ce que la liaison de flux gazeux (105) présente une entrée de vapeur d'eau (108) située entre le premier et le second module catalytique (250, 260).
12. Circuit de recirculation selon l'une des revendications 5 à 10, caractérisé en ce que le premier module catalytique (250) comprend au moins un parmi les catalyseurs du groupe : Ru, W, Rh, Ir, Ni, Co, Os, Pt, Fe, Mo, Pd, Ag.
13. Circuit de recirculation selon l'une des revendications 10 à 12, caractérisé en ce que le second module catalytique (260) comprend un premier pain catalytique comprenant au moins un parmi les catalyseurs du groupe : Pt, Fe₂O₃, FeCr ; et un second pain catalytique comprenant au moins un parmi les catalyseurs du groupe : Pt, CuO/ZnO.
14. Moteur à combustion interne comprenant :
- une chambre de combustion (10) ;
- un collecteur d'admission d'air (11) ;
- un collecteur d'échappement (12) ;
- un circuit de recirculation (100) selon l'une des revendications 1 à 13.
15. Moteur selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens adaptés à prélever une partie de l'hydrogène produit par le reformeur du circuit de recirculation.
16. Moteur selon la revendication 15, caractérisé en ce qu'il comprend une pile à combustible alimentée au moins en partie par de l'hydrogène prélevé du circuit de recirculation.

17. Moteur selon la revendication 15, caractérisé en ce qu'il comprend un module de post-combustion à l'échappement adapté à être chauffé par une alimentation en hydrogène prélevé du circuit de recirculation.
18. Moteur selon la revendication 15, caractérisé en ce qu'il comprend des pièges à oxyde d'azote (NOx) à l'échappement, lesdits pièges étant adaptés à être régénérés au moins en partie par de l'hydrogène prélevé du circuit de recirculation.
19. Moteur selon l'une des revendications 14 à 18, caractérisé en ce qu'il comprend une unité de contrôle adaptée à commander une vanne de régulation du flux gazeux dans le circuit de recirculation.
20. Moteur selon la revendication 19, caractérisé en ce que l'unité de contrôle est adaptée à réguler une injection de carburant et une injection d'eau dans le reformeur du circuit de recirculation.
21. Moteur selon la revendication 19 ou 20, caractérisé en ce que l'unité de contrôle est adaptée à réguler une injection d'air dans le reformeur du circuit de recirculation.
22. Véhicule automobile comprenant un moteur selon l'une des revendications 14 à 21.

1/1

**Fig. 1****Fig. 2**



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 662951
FR 0500253

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	WO 01/14698 A (MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 1 mars 2001 (2001-03-01) * page 3, ligne 18 - page 7, ligne 20; figures 1,2,5 *	1-15	F02M25/07 F02M25/032 F02M25/12

X	DE 22 24 593 A1 (SIEMENS AG, 1000 BERLIN U. 8000 MUENCHEN) 29 novembre 1973 (1973-11-29) * page 11, ligne 15 - page 14, ligne 15; figure *	1,2,4-6	

X	US 3 918 412 A (LINDSTROM ET AL) 11 novembre 1975 (1975-11-11) * colonne 3, ligne 10 - colonne 3, ligne 67; figures 1,2 *	1-6	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7) F02M F02D

X	GB 2 328 715 A (* FORD GLOBAL TECHNOLOGIES, INC) 3 mars 1999 (1999-03-03) * page 6, ligne 35 - page 8, ligne 35; figure 1 *	1-5	

X	US 4 735 186 A (PARSONS ET AL) 5 avril 1988 (1988-04-05) * colonne 1, ligne 5 - colonne 1, ligne 18; figure 1 * * colonne 4, ligne 50 - colonne 6, ligne 34 *	1,2,4,5	F02M F02D

X	US 2004/144337 A1 (WAKAO KAZUHIRO ET AL) 29 juillet 2004 (2004-07-29) * alinéa [0074] - alinéa [0090]; figures 1-10 *	1-3	

Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
2 septembre 2005		Marsano, F	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE**RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0500253 FA 662951**

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 **02-09-2005**

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
WO 0114698 A	01-03-2001	US 6560958 B1	13-05-2003
		CA 2383551 A1	01-03-2001
		EP 1212520 A1	12-06-2002
		JP 2003529012 T	30-09-2003
		WO 0114698 A1	01-03-2001
		US 2002194835 A1	26-12-2002
DE 2224593 A1	29-11-1973	AUCUN	
US 3918412 A	11-11-1975	SE 349549 B	02-10-1972
		CA 950296 A1	02-07-1974
		CA 950297 A2	02-07-1974
		DE 2119798 A1	02-12-1971
		FR 2090966 A5	14-01-1972
		GB 1328294 A	30-08-1973
		JP 51024044 B	21-07-1976
GB 2328715 A	03-03-1999	AUCUN	
US 4735186 A	05-04-1988	GB 2161212 A	08-01-1986
		AT 34807 T	15-06-1988
		DE 3563093 D1	07-07-1988
		EP 0159834 A1	30-10-1985
		JP 1861893 C	08-08-1994
		JP 5079822 B	04-11-1993
		JP 60230556 A	16-11-1985
US 2004144337 A1	29-07-2004	JP 2004251273 A	09-09-2004
		DE 102004004054 A1	16-09-2004
		FR 2850430 A1	30-07-2004