

(19)



(11)

EP 2 166 214 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
24.03.2010 Bulletin 2010/12

(51) Int Cl.:
F02D 35/02 ^(2006.01) **F02D 41/40** ^(2006.01)
F02D 19/12 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **09290618.9**

(22) Date de dépôt: **05.08.2009**

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
AL BA RS

(72) Inventeurs:
• **Auclair Dominique, 94350 Villiers-sur-Marne (FR)**
• **Duval Laurent 92000 Nanterre (FR)**
• **Pagot Alexandre 92500 Rueil-Malmaison (FR)**
• **Zaccardi Jean-Marc Seynod, 74600 Seynod (FR)**

(30) Priorité: **18.09.2008 FR 0805132**

(71) Demandeur: **IFP 92852 Rueil-Malmaison Cédex (FR)**

(54) **Procédé de détection de combustion anormale pour moteurs à combustion interne**

(57) Procédé de détection de combustion anormale pour moteurs à combustion interne.

On choisit un modèle physique décrivant, en fonction de l'angle α de rotation du vilebrequin du moteur, l'évolution de la pression dans le cylindre dans le cadre d'une combustion sans aucun phénomène de pré allumage. Puis, on estime la pression cylindre $P_e(\alpha)$ à partir de ce modèle et d'une mesure de pression d'admission. On détecte le début d'une combustion anormale en compa-

rant une première valeur d'une grandeur calculée à partir de la mesure de la pression cylindre, à une seconde valeur de la grandeur calculée à partir de l'estimation de la pression cylindre. On caractérise l'amplitude du pré allumage en réitérant ces étapes pour un nombre défini d'angles vilebrequin. On contrôle alors le déroulement de la combustion anormale détectée dans la chambre de combustion, en fonction de l'amplitude du phénomène de pré allumage.

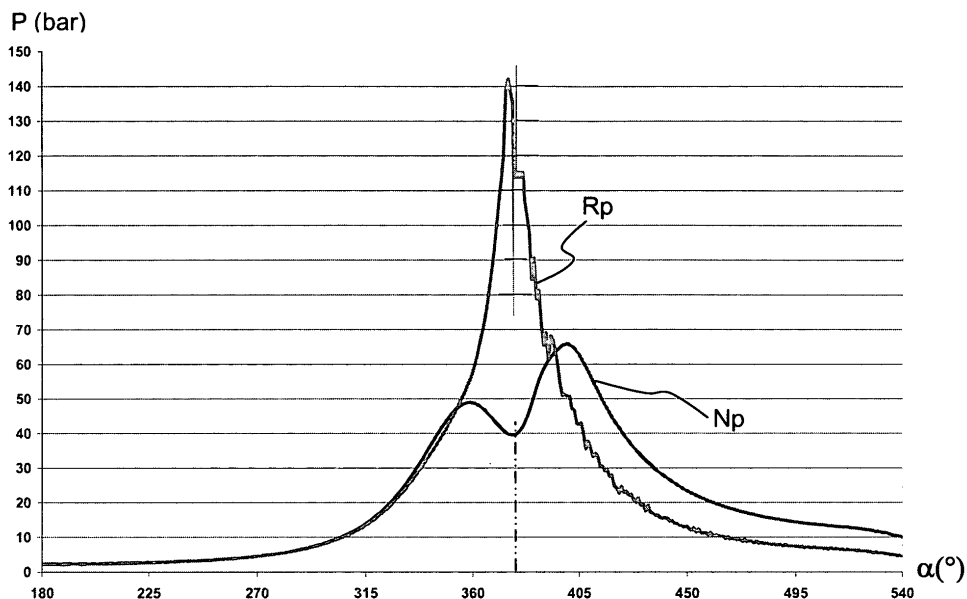


Fig. 3

EP 2 166 214 A1

Description

[0001] La présente invention concerne le domaine du contrôle de la phase de combustion d'un moteur à combustion interne. Notamment la présente invention se rapporte à une méthode pour détecter une combustion anormale du type pré allumage à bas régime et à forte charge dans une chambre de combustion d'un tel moteur.

[0002] Elle concerne plus particulièrement mais non exclusivement une telle méthode appliquée à un moteur à allumage commandé « downsized », fonctionnant sous très fortes charges.

[0003] Ce type de moteur comprend au moins un cylindre comportant une chambre de combustion délimitée par la paroi latérale interne du cylindre, par le haut du piston qui coulisse dans ce cylindre et par la culasse. Généralement, un mélange carburé est renfermé dans cette chambre de combustion et subit une étape de compression puis une étape de combustion sous l'effet d'un allumage commandé, par une bougie, ces étapes étant regroupées sous le vocable de « phase de combustion » dans la suite de la description.

[0004] Il a pu être constaté que ce mélange carburé peut subir différents types de combustion et que ces types de combustion sont la source de différents niveaux de pression ainsi que de contraintes mécaniques et/ou thermiques, dont certains peuvent endommager gravement le moteur.

[0005] La première combustion, dite combustion conventionnelle ou combustion normale, est le résultat de la propagation de la combustion d'un mélange carburé comprimé lors d'une étape préalable de compression du moteur. Cette combustion se propage normalement selon un front de flamme à partir de l'étincelle générée à la bougie et ne risque pas de détériorer le moteur.

[0006] Un autre type de combustion est une combustion avec cliquetis, qui résulte d'une auto-inflammation indésirable dans la chambre de combustion. Ainsi, après l'étape de compression du mélange carburé, la bougie est actionnée pour permettre l'allumage de ce mélange carburé. Sous l'effet de la pression générée par le piston et de la chaleur dégagée par le début de la combustion du mélange carburé, il se produit une auto-inflammation brutale et localisée d'une partie du mélange carburé comprimé, avant que n'arrive le front de flamme issu de l'allumage du mélange carburé par la bougie. Ce mécanisme, dénommé cliquetis, conduit à une augmentation locale de la pression et de la température et peut engendrer, en cas de répétitions, des effets destructifs sur le moteur et principalement au niveau du piston.

[0007] Enfin, un autre type de combustion est une combustion anormale due à un pré-allumage du mélange carburé avant que la bougie n'initie l'allumage du mélange carburé présent dans la chambre de combustion.

[0008] Cette combustion anormale affecte les moteurs qui sont le résultat d'une opération de "miniaturisation", plus connu sous le terme anglais de "downsizing". Cette opération vise à diminuer la taille et/ou la cylindrée du moteur tout en conservant la même puissance et/ou le même couple que des moteurs conventionnels. Généralement, ce type de moteurs est principalement de type essence et est fortement suralimenté.

[0009] Il a pu être constaté que cette combustion anormale se réalise à fortes charges, et généralement lors des bas régimes de fonctionnement du moteur, lorsque le calage de la combustion du mélange carburé ne peut pas être l'optimum à cause du cliquetis. Compte tenu des fortes pressions et des températures élevées atteintes dans la chambre de combustion par la suralimentation, un démarrage de combustion anormale peut se produire, sporadiquement ou de façon continue, bien avant le moment où se réalise l'allumage du mélange carburé par la bougie. Cette combustion se caractérise par une première phase de propagation de flamme qui est calée trop tôt par rapport à celle d'une combustion conventionnelle. Cette phase de propagation peut être interrompue par une auto-inflammation qui va concerner une grande partie du mélange carburé présent dans la chambre de combustion, beaucoup plus grande que dans le cas du cliquetis.

[0010] Dans le cas où cette combustion anormale se produit de façon répétitive, de cycle-moteur à cycle-moteur, et se réalise à partir d'un point chaud du cylindre par exemple, celle-ci est dénommée "pré-allumage". Si cette combustion se produit de manière violente, aléatoire et sporadique, elle est appelée "claquement" ou "rumble" (« pre-ignition »)

[0011] Cette dernière combustion anormale entraîne des niveaux de pressions très élevés (120 à 250 bars), ainsi qu'une augmentation des transferts thermiques qui peuvent entraîner une destruction partielle ou totale de l'équipage mobile du moteur, comme le piston ou la bielle.

[0012] La méthodologie générale de traitement de ces combustions anormales est schématisée sur la figure 1, avec dans un premier temps une phase de prévention (PP) pour limiter au maximum les chances d'apparition du phénomène, puis une phase de détection (PD) lorsque la prévention n'a pas suffi à éviter le phénomène, pour déterminer si oui ou non il y a lieu d'intervenir dans le cycle même où le pré allumage a été détecté, au moyen d'une phase corrective (PC).

État de la technique

[0013] La phase de détection comporte une phase d'acquisition de signaux, puis une phase de traitement de signaux permettant de détecter l'apparition du pré allumage à forte charge, de le caractériser et de le quantifier.

[0014] On connaît par la demande de brevet EP 1.828.737, une méthode pour détecter l'apparition du pré allumage à forte charge, de type *rumble*. Cette méthode est basée sur la mesure d'un signal relatif au déroulement de la combustion,

et une comparaison avec un signal-seuil. La présence d'une combustion anormale, de type bruit sourd de grondement ou "rumble", dans la chambre de combustion, est détectée lorsque l'amplitude du signal dépasse de façon significative celle du signal-seuil. Selon cette méthode, le signal-seuil correspond à l'amplitude du signal produit lors d'une combustion avec cliquetis ou lors d'une combustion normale.

5 [0015] Cependant, selon cette méthode, la détection ainsi réalisée ne permet pas d'agir au cours du cycle même de la détection. Les actions de corrections de ce type de pré allumage ne peuvent donc être réalisées qu'après la réalisation d'un tel phénomène, ce qui peut nuire sérieusement à l'intégrité du moteur.

[0016] On connaît également la méthode décrite dans le brevet FR 2.897.900. Selon cette méthode, on peut agir plus rapidement après la détection du pré allumage : on est capable d'agir au cours du même cycle que le cycle de détection du phénomène. Pour ce faire, le signal-seuil est préalablement calculé, c'est-à-dire avant le fonctionnement du moteur, puis stocké dans des tables de données du calculateur, appelées cartographies.

10 [0017] Cependant, l'utilisation de cartographies, ne permet pas de détecter à tout moment, c'est-à-dire en temps réel, le début d'un tel phénomène. De ce fait, il est toujours possible que la détection se fasse trop tardivement. De plus, aucune quantification de l'évolution du phénomène ne peut être réalisée. Ainsi, la nécessité ou non d'appliquer une phase de correction repose uniquement sur la comparaison de deux amplitudes à un instant donné. Or un tel phénomène peut très bien débuter, puis s'arrêter sans entraîner de dommage pour le moteur, et donc ne pas nécessiter de phase corrective.

15 [0018] Ainsi, l'objet de l'invention concerne un procédé alternatif permettant de détecter en temps réel l'apparition d'un phénomène de pré allumage à forte charge (du type *rumble*), de le caractériser et de le quantifier, avec les dispositifs et systèmes couramment utilisés dans les moteurs, de façon à prendre des mesures permettant de l'éviter dans la suite du fonctionnement du moteur, au cours du même cycle que celui de la détection. Cette détection et cette quantification peuvent être réalisées à chaque angle vilebrequin. La méthode s'appuie sur un traitement d'une mesure de la pression cylindre combinée à une modélisation de la pression cylindre.

25 Le procédé selon l'invention

[0019] L'invention concerne un procédé de contrôle de la combustion d'un moteur à combustion interne suralimenté à allumage commandé, dans lequel on détecte une combustion anormale dans une chambre de combustion (14) d'au moins un cylindre (12) dudit moteur, au moyen d'une mesure continue de pression $P_m(\alpha)$ au sein dudit cylindre. Le procédé comporte les étapes suivantes :

a- on choisit un modèle physique décrivant, en fonction de l'angle α de rotation du vilebrequin dudit moteur, l'évolution de la pression dans le cylindre dans le cadre d'une combustion sans aucun phénomène de pré allumage ;

35 b- on estime une pression cylindre $P_e(\alpha)$ à partir dudit modèle et de ladite mesure de pression d'admission ;

c- on détecte le début d'une combustion anormale en comparant au moins une première valeur d'une grandeur calculée à partir de la mesure de la pression cylindre, à au moins une seconde valeur de ladite grandeur calculée à partir de l'estimation de la pression cylindre ;

40 d- on caractérise l'amplitude du pré allumage en réitérant les étapes b) et c) pour un nombre défini d'angles vilebrequin ;

45 e- on contrôle le déroulement de la combustion anormale détectée dans la chambre de combustion, selon l'amplitude du phénomène de pré allumage.

[0020] Selon l'invention, le modèle physique peut décrire l'évolution de la pression dans le cylindre en fonction de la pression d'admission et du volume de la chambre de combustion du cylindre.

50 [0021] On peut contrôler le déroulement de la combustion anormale en introduisant dans la chambre de combustion un agent contenant du carburant, de l'eau, ou du dioxyde de carbone. On peut aussi contrôler le déroulement de la combustion anormale en faisant chuter la pression à l'intérieur de la chambre de combustion (14). Selon un autre mode de réalisation, on peut encore contrôler le déroulement de la combustion anormale en ouvrant au moins une soupape additionnelle pour faire chuter la pression à l'intérieur de la chambre de combustion (14). Enfin, selon un autre mode de réalisation, on peut contrôler le déroulement de la combustion anormale en ouvrant au moins une des soupapes (24, 30) pour faire chuter la pression à l'intérieur de la chambre de combustion (14).

55 [0022] Selon l'invention, la grandeur peut être un gradient de pression cylindre. On détecte alors le début d'une combustion anormale en analysant le signe de ce gradient. On peut également, choisir la grandeur parmi l'une des grandeurs suivantes : un gradient de pression cylindre, un dégagement d'énergie, une température de gaz frais, le

logarithme de la pression cylindre.

[0023] Enfin, selon l'invention, on peut comparer plusieurs grandeurs mesurées et estimées. Ceci peut être réalisé au moyen de seuils.

5 Présentation des figures

[0024] Les autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description donnée ci-après en se référant aux graphiques annexés où :

- 10 - la figure 1 montre la méthodologie générale de traitement des combustions anormales de type pré allumage ;
- la figure 2 montre un moteur utilisant la méthode de détection selon l'invention ;
- 15 - la figure 3 montre, en fonction de l'angle vilebrequin α , une courbe de pression cylindre mesurée (R_p) et une courbe de pression cylindre modélisée (N_p) ;
- la figure 4 illustre les modèles physiques utilisés par l'invention selon différents modes de réalisation, et dérivant de la pression cylindre.
- 20 - la figure 5 montre, en fonction de l'angle vilebrequin α , une courbe de gradient de pression cylindre mesurée (R_{dp}) et une courbe de gradient de pression cylindre modélisée (N_{dp});
- les figures 6A à 6D illustrent la sensibilité de la température des gaz frais au pré allumage. La figure 6A représente le dégagement d'énergie maximal (DEM) en fonction du CA10, pour une température de l'air admis (mesurée dans le plénum) de 30°C en gris, et une température de l'air admis (mesurée dans le plénum) de 40°C en noir. Les figures 25 6B et 6C représentent le dégagement d'énergie maximal (DEM) en fonction du CA10, pour une température d'eau de 80°C (figure 6B) et une température d'eau de 100°C (figure 6C). La zone encadrée sur ce graphique représente une zone de pré allumage. La figure 6D illustre le lien entre la température de l'eau et la température de gaz frais. Les courbes représentent l'évolution de la température des gaz frais (TGF) en fonction de l'angle vilebrequin (α). 30 La courbe du haut correspond à une température d'eau de 100°C, et celle du bas une température de 80°C.
- la figure 7 représente l'évolution de $\log(P)$ en fonction de $\log(V)$, dans un cas de pré allumage (courbe noire, N_{log}) et selon une modélisation d'une combustion conventionnelle sans pré allumage (courbe grise, R_{log}).

35 Description détaillée du procédé

[0025] Sur la figure 2, un moteur à combustion interne 10 suralimenté à allumage commandé, en particulier de type essence, comprend au moins un cylindre 12 avec une chambre de combustion 14 à l'intérieur de laquelle se produit la combustion d'un mélange d'air suralimenté et de carburant.

40 **[0026]** Le cylindre comprend au moins un moyen d'alimentation en carburant sous pression 16, par exemple sous la forme d'un injecteur de carburant 18 contrôlé par une vanne 20, qui débouche dans la chambre de combustion, au moins un moyen d'admission d'air 22 avec une soupape 24 associée à une tubulure d'admission 26 se terminant par un plénum 26b (non représenté sur la figure), au moins un moyen d'échappement des gaz brûlés 28 avec une soupape 30 et une tubulure d'échappement 32 et au moins un moyen d'allumage 34, comme une bougie, qui permet de générer 45 une ou plusieurs étincelles permettant d'enflammer le mélange carburé présent dans la chambre de combustion.

[0027] Les tubulures 32 des moyens d'échappement 28 de ce moteur sont raccordées à un collecteur d'échappement 36 lui-même connecté à une ligne d'échappement 38. Un dispositif de suralimentation 40, par exemple un turbocompresseur ou un compresseur volumétrique, est placé sur cette ligne d'échappement et comprend un étage d'entraînement 42 avec une turbine balayée par les gaz d'échappement circulant dans la ligne d'échappement et un étage de compression 50 44 qui permet de faire admettre un air d'admission sous pression dans les chambres de combustion 14 par les tubulures d'admission 26.

[0028] Le moteur comprend des moyens 46a de mesure de la pression cylindre, disposés au sein même du cylindre 12 du moteur. Ces moyens de mesure sont généralement constitués par un capteur de pression qui permet de générer un signal représentatif de l'évolution de la pression dans un cylindre.

55 **[0029]** Le moteur comprend des moyens 46b de mesure de la pression d'admission, disposés dans le plénum 26b. Ces moyens de mesure sont généralement constitués par un capteur de pression absolue, de type piézoélectrique, qui permet de générer un signal représentatif de l'évolution de la pression d'admission dans le plénum d'admission.

[0030] Le moteur comprend également une unité de calcul et de commande 48, dénommée calculateur-moteur, qui

EP 2 166 214 A1

est reliée par des conducteurs (pour certains bidirectionnels) aux différents organes et capteurs du moteur de façon à pouvoir recevoir les différents signaux émis par ces capteurs, comme la température de l'eau ou la température de l'huile, pour les traiter par calcul et ensuite commander les organes de ce moteur pour assurer son bon fonctionnement.

[0031] Ainsi, dans le cas de l'exemple montré à la figure 2, les bougies 34 sont reliées par des conducteurs 50 au calculateur-moteur 48 de façon à commander le moment de l'allumage du mélange carburé, le capteur de pression cylindre 46a est connecté par une ligne 52 à ce même calculateur-moteur pour lui envoyer les signaux représentatifs de l'évolution de la pression dans le cylindre, et les vannes 20 de commande des injecteurs 18, sont raccordées par des conducteurs 54 au calculateur 48 pour commander l'injection de carburant dans les chambres de combustion. Les moyens 46b sont également connectés par une ligne 53 au calculateur-moteur 48.

[0032] Au sein d'un tel moteur, le procédé selon l'invention permet de détecter l'apparition d'un phénomène de pré allumage à forte charge (du type *rumble*), de le caractériser et de le quantifier. Cette détection et cette quantification peuvent être réalisées à chaque angle vilebrequin.

[0033] La méthode s'appuie sur un traitement d'une mesure de la pression cylindre combinée à une modélisation de la pression cylindre (les signaux issus de capteur de pression cylindre sont représentatifs de l'état de la combustion). Selon un exemple de réalisation, le procédé comporte les étapes suivantes :

1- on modélise la pression dans le cylindre ;

2- on mesure la pression dans le cylindre ;

3- on détecte le début d'une combustion anormale en comparant ladite pression cylindre mesurée à ladite pression cylindre modélisée ;

4- on contrôle le déroulement de la combustion anormale détectée dans la chambre de combustion.

1- Modélisation de la pression dans le cylindre

[0034] La pression cylindre au cours de la phase de compression peut être modélisée pour chacun des cycles moteur, en utilisant l'hypothèse d'une compression polytropique :

$$PV^n = cte$$

où P est la pression dans le cylindre et V le volume de la chambre de combustion du cylindre. Ces deux paramètres varient bien sûr en fonction de l'angle de rotation du vilebrequin α .

[0035] On appelle « loi de volume du moteur » $V(\alpha)$, la relation qui lie le volume de la chambre de combustion à l'angle de rotation du vilebrequin α . Cette loi est fonction des caractéristiques géométriques du moteur (course, alésage, rapport volumétrique de compression, longueur de bielle). Le volume mort V_m correspond au volume minimal de la chambre (au Point Mort Haut). On note V_{PMB} , le volume de la chambre de combustion au Point Mort Bas, c'est-à-dire le volume maximal, qui est atteint deux fois dans le cycle (une première fois à la fin de la phase d'admission, et une seconde fois à la fin de la phase de détente).

[0036] En utilisant cette relation pour tout angle vilebrequin, et la même relation pour la pression à l'admission P_{adm} (moment où le Point Mort Bas est atteint), on peut estimer la pression cylindre $P_e(\alpha)$, dans le cadre d'une combustion conventionnelle, c'est-à-dire sans aucun phénomène de pré allumage, à partir du modèle suivant :

$$P_e(\alpha) = P_{adm} \left(\frac{V_{PMB}}{V(\alpha)} \right)^n$$

[0037] La loi de volume $V(\alpha)$ du moteur est connue. La pression pendant la phase d'admission est également connue grâce aux moyens 46b de mesure de la pression d'admission. L'exposant n , appelé exposant polytropique, est également connu. Ainsi, il est possible d'estimer une pression cylindre « théorique », c'est-à-dire la pression qui devrait régner dans le cylindre si aucun pré allumage n'a lieu, tout au long de la compression.

[0038] *Remarque* : La pression pendant la phase d'admission correspond théoriquement à la pression dans le cylindre au moment de l'admission du mélange carburé. Cette pression est mesurée dans le plénum. On peut remplacer cette

pression par la pression dans le cylindre en début de compression (i.e. en fin d'admission), recalée sur la pression absolue mesurée à l'admission dans le plénum en fin de phase d'admission (on suppose que l'équilibre est atteint en fin de phase d'admission et qu'à ce moment : $P_{adm} = P$).

5 2- Mesure de la pression dans le cylindre

[0039] La mesure de la pression cylindre $P_m(\alpha)$ est réalisée à partir des moyens 46a de mesure de la pression cylindre. L'instrumentation des cylindres pour une mesure de pression est de plus en plus courante sur les véhicules.

10 3- Comparaison des pressions cylindre mesurée et modélisée

[0040] Pour déterminer si un pré allumage est en train de se produire, on compare la pression cylindre mesurée $P_m(\alpha)$ à la pression cylindre modélisée $P_e(\alpha)$. Cette comparaison peut donc être réalisée à chaque angle vilebrequin. Ceci permet donc de détecter très rapidement le moindre écart de la pression cylindre mesurée par rapport à la pression cylindre théorique (modélisée). En réalisant cette comparaison, sur plusieurs angles vilebrequin, on peut caractériser cet écart : l'écart peut augmenter de façon lente, de façon rapide, se stabiliser, diminuer... En fonction de l'évolution de cet écart, on caractérise ainsi le pré allumage, et on est en mesure de décider des actions correctives à entreprendre ou non.

[0041] La figure 3 montre une courbe de pression cylindre mesurée (R_p), en noire, et une courbe de pression cylindre modélisée (N_p) selon le modèle décrit précédemment, et qui décrit une courbe de pression cylindre pour une combustion conventionnelle. L'axe des abscisses indique l'angle vilebrequin α . La ligne verticale en pointillé indique l'instant où l'allumage commandé a lieu. On constate que le phénomène de pré allumage conduit à des conditions thermodynamiques excessives, mettant en péril l'intégrité du moteur. Cependant, on note que la détection d'un écart entre les pressions cylindre mesurée et modélisée peut se faire de façon très précoce.

[0042] On peut également quantifier cet écart, de façon à déterminer à quel moment il est important d'intervenir.

[0043] Pour ce faire, on peut déterminer des seuils, à partir desquels on considère qu'un phénomène de pré allumage de type rumble est en train de se produire, et que ce phénomène devrait avoir une telle ampleur qu'il est nécessaire d'intervenir.

[0044] On peut par exemple définir les seuils suivants à chaque angle vilebrequin

- une pression cylindre absolue à ne pas dépasser $P_m(\alpha) < S_1$
- un écart de pression à ne pas dépasser $P_m(\alpha) - P_e(\alpha) < S_2$
- un rapport de pression à ne pas dépasser $P_m(\alpha)/P_e(\alpha) < S_3$

[0045] Les seuils S1, S2 et S3 sont définis avant le fonctionnement du moteur, sur banc d'essai par exemple.

[0046] Selon un mode de réalisation avantageux, ces seuils peuvent évoluer au cours du fonctionnement du moteur. On peut par exemple pondérer ces seuils de façon à prendre en compte le vieillissement du véhicule. En effet, l'encrassement du moteur peut être un facteur aggravant en ce qui concerne la sensibilité du moteur au pré allumage. Selon l'invention, on tient compte de ce phénomène en rendant arbitrairement plus sévère les différents seuils évoqués (en réduisant la limite de pression par exemple) tout en scrutant régulièrement le comportement du moteur pour ajuster ces seuils périodiquement. Le niveau d'ajustement nécessaire peut être déterminé pendant la phase de mise au point du moteur, en simulant un vieillissement accéléré de celui-ci, en générant par exemple un encrassement important à l'aide d'une procédure spécifique. On joue généralement sur la thermique du moteur, mais aussi sur les phasages d'injection et d'allumage pour dégrader la combustion, et générer ainsi des dépôts carbonés sur les parois de la chambre de combustion à l'identique de ce qui se passe lors du vieillissement naturel du moteur. Chaque expérimentateur est alors libre de définir la correspondance entre un vieillissement accéléré volontaire, et le vieillissement naturel du moteur considéré. Au final, les seuils évoqués précédemment évoluent de manière inversement proportionnelle au vieillissement du véhicule, grâce à un coefficient de correction K.

$$S' = S * K \text{ avec } K \propto \frac{1}{\text{Kilométrage}} \text{ ou encore par exemple } K \propto \frac{1}{e^{\text{Kilométrage}}}$$

[0047] La comparaison des deux signaux peut bien sûr se faire à plusieurs angles vilebrequin. Une détection précoce pendant la phase de compression est toutefois préférable, d'une part pour garder une marge de manoeuvre suffisante

pour intervenir dans le cycle, et d'autre part, car les pré allumages les plus violents démarrent dès cette phase de compression.

4- Contrôle de la combustion anormale

[0048] Au moyen de cette comparaison, le calculateur-moteur peut détecter le début d'une combustion anormale de type "rumble" ou du type "pré-allumage" dans la chambre de combustion.

[0049] En cas de combustion anormale, ce calculateur lance ensuite les actions nécessaires au contrôle de cette combustion afin d'éviter la poursuite d'une telle combustion.

[0050] Par contrôle de la combustion anormale, il est entendu non seulement la possibilité de maîtriser le déroulement de cette combustion pour éviter les augmentations brutales de pressions destructrices mais aussi d'arrêter complètement une telle combustion, telle que par étouffement.

[0051] A titre préférentiel, ce contrôle de la combustion est réalisé par une réinjection de carburant à un angle de vilebrequin déterminé par les injecteurs 18. Plus précisément, le calculateur commande les vannes 20 de façon à ce que l'injecteur du cylindre concerné permette d'introduire dans la chambre de combustion une quantité de carburant sous forme liquide. La quantité de carburant réinjectée dépend de la constitution du moteur et peut aller de 10% à 200% de la quantité de carburant initialement introduite dans cette chambre de combustion. De ce fait, le carburant réinjecté sert à contrarier la flamme qui commence à se déployer lors de la combustion anormale. Cette réinjection permet soit de souffler cette flamme, soit d'étouffer cette flamme par augmentation de la richesse du mélange carburé. De plus, le carburant injecté sous forme liquide utilise la chaleur présente autour de cette flamme pour se vaporiser et les conditions de température autour de la flamme vont baisser en retardant la combustion du mélange carburé et surtout son auto-inflammation.

[0052] Après cette injection de carburant, la pression dans le cylindre augmente mais moins brutalement. Cette pression décroît ensuite pour atteindre un niveau compatible avec le niveau de pression d'une combustion conventionnelle.

[0053] Par ce mécanisme, tout développement d'une combustion anormale avec une grande vitesse de combustion et des pressions élevées est prohibé. Bien entendu, la mise en oeuvre des moyens pour contrôler la combustion anormale se fait à chaque cycle durant lequel une telle combustion est détectée par le calculateur.

[0054] Les actions du procédé telles que décrites ci-dessus peuvent être combinées à d'autres actions plus lentes, telles que la fermeture du papillon, pour empêcher que les conditions de pression de la chambre de combustion soient favorables à une combustion anormale dans les cycles qui suivent.

[0055] La présente invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation décrits ci-dessus mais englobe toutes variantes et tous équivalents.

[0056] Notamment et cela sans sortir du cadre de l'invention, d'autres agents pour arrêter la combustion anormale peuvent être introduits dans la chambre de combustion. Ainsi, ces agents peuvent être de l'eau sous forme vapeur ou liquide, ou du dioxyde de carbone. Dans ce cas, le moteur comprend des injecteurs spécifiques additionnels pour l'introduction de ces agents en association avec un circuit dédié (pompe, réservoir,...).

[0057] Il peut également être envisagé de contrôler la combustion anormale en faisant baisser la pression interne de la chambre de combustion en effectuant une décharge de pression en ouvrant une soupape de décharge. Cette soupape de décharge peut être soit une soupape additionnelle soit la soupape d'admission 24 et/ou la soupape d'échappement 30.

[0058] De plus, la présente invention peut également concerner un moteur à allumage commandé et à injection indirecte. Dans ce cas, le contrôle du déroulement de la combustion anormale se fera par l'utilisation d'un injecteur spécifique (carburant, eau, CO₂), comme évoqué ci-dessus, ou par ouverture de soupape.

Variantes

[0059] Un mode de réalisation utilisant directement un modèle de la pression cylindre a été décrit. Selon d'autres modes de réalisation, on peut utiliser des modèles dérivés (figure 4). En effet, plusieurs signaux peuvent être utilisés pour détecter le pré allumage en temps réel en travaillant par exemple sur : le gradient de pression cylindre, le dégagement d'énergie, la température des gaz frais, ou encore en travaillant sur le diagramme $\log P / \log V$.

Gradient de pression cylindre (figure 5)

[0060] Les conditions d'apparition du pré allumage (bas régime et fortes charges) font qu'en règle générale, l'allumage par l'étincelle de la bougie est fortement sous calée pendant la phase de détente de manière à éviter le cliquetis. La courbe de pression cylindre fait alors apparaître un premier pic lié à la compression et un second pic décalé lié à la combustion (figure 3). On peut donc détecter le pré allumage en se basant uniquement sur le signe du gradient de pression cylindre : si celui-ci est positif avant même que l'étincelle n'ait été produite, alors il s'agit d'un pré allumage.

EP 2 166 214 A1

[0061] De la même manière que pour la pression cylindre, des seuils de détection sur la dérivée de la pression cylindre peuvent également être définis, à chaque angle vilebrequin (l'indice 'e' indique une estimation et l'indice 'm' une mesure) :

- par un gradient de pression absolu à ne pas dépasser $dP_m(\alpha) < S_4$
- un écart à ne pas dépasser $dP_m(\alpha) - dP_e(\alpha) < S_5$
- un rapport à ne pas dépasser $dP_m(\alpha)/dP_e(\alpha) < S_6$

Dégagement d'énergie

[0062] La dérivée de la pression cylindre peut aussi être utilisée pour calculer un dégagement d'énergie ∂Q simplifié :

$$\left. \begin{aligned} dU &= \partial Q + \partial W \\ dU &= m \cdot C_v \cdot dT \\ \partial W &= -P \cdot dV \\ P \cdot V &= m \cdot r \cdot T \\ r &= C_p - C_v \\ s &= \frac{C_p}{C_v} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \partial Q = \frac{s}{s-1} P \cdot dV + \frac{1}{s-1} V \cdot dP$$

[0063] Ce dégagement d'énergie simplifié peut alors lui aussi servir à définir un seuil (l'indice 'e' indique une estimation et l'indice 'm' une mesure) :

- par un dégagement d'énergie absolu à ne pas dépasser $\partial Q_m(\alpha) < S_7$
- par un écart de dégagement d'énergie $\partial Q_m(\alpha) - \partial Q_e(\alpha) < S_8$
- par un rapport de dégagement d'énergie $\partial Q_m(\alpha)/\partial Q_e(\alpha) < S_9$
- en calculant des indicateurs d'avancement de la combustion, notés CAX, et en les comparant aux mêmes indicateurs calculés à partir de la pression cylindre théorique évaluée par modélisation. X désigne le pourcentage d'avancement de la combustion. L'angle CA10 correspond par exemple à l'angle où 10 % de l'énergie introduite a été dégagée ou, selon la convention utilisée, à 10 % de l'énergie totale libérée.

Température des gaz frais (figures 6A - 6D)

[0064] La température moyenne des gaz frais T (air et carburant) est un paramètre qui présente l'avantage d'être très influent sur la sensibilité de la combustion au pré allumage. Or, cette température peut être estimée à partir de plusieurs autres grandeurs comme la température dans le répartiteur d'admission (figure 6A), les quantités d'air et de carburant admises et la pression cylindre. Il est donc possible de détecter, voire même d'anticiper, un pré allumage en disposant d'un seuil sur cette température des gaz frais. Une détection précoce du pré allumage et une bonne anticipation permettent de disposer de plus de temps pour déclencher une action curative dans le cycle même.

[0065] La figure 6A représente le dégagement d'énergie maximal (DEM) en fonction du CA10, pour une température de l'air admis (mesurée dans le plénum) de 30°C en gris, et une température de l'air admis (mesurée dans le plénum) de 40°C en noir. La zone encadrée sur ce graphique représente une zone de pré allumage.

[0066] Les figures 6B et 6C représentent le dégagement d'énergie maximal (DEM) en fonction du CA10, pour une température d'eau de 80°C (figure 6B) et une température d'eau de 100°C (figure 6C). La zone encadrée sur ce graphique représente une zone de pré allumage.

[0067] La figure 6D illustre le lien entre la température de l'eau et la température de gaz frais. Les courbes représentent l'évolution de la température des gaz frais (TGF) en fonction de l'angle vilebrequin (α). La courbe du haut correspond à une température d'eau de 100°C, et celle du bas une température de 80°C.

EP 2 166 214 A1

[0068] Cette température moyenne des gaz frais $T_e(\alpha)$ peut être calculée simplement en utilisant l'équation d'état des gaz parfait :

$$P.V = m.r.T \quad \Rightarrow \quad T_e(\alpha) = \frac{P_e(\alpha).V(\alpha)}{m.r}$$

[0069] La masse de mélange m peut être connue sur moteur, soit par mesure directe par débitmètre, soit par des modèles qui évaluent en temps réel le débit d'air entrant à partir de mesures de pression dans la ligne d'admission.

[0070] Le seuil de détection sur la température peut lui aussi être défini de trois manières à un angle vilebrequin donné (l'indice 'e' indique une estimation et l'indice 'm' une mesure) :

- par une température absolue à ne pas dépasser $T_m(\alpha) < S_{10}$
- par un écart de température $T_m(\alpha) - T_e(\alpha) < S_{11}$
- par un rapport de température $T_m(\alpha) / T_e(\alpha) < S_{12}$

Diagramme $\log P / \log V$ (figure 7)

[0071] Les grandeurs $\log(P)$ et $\log(V)$ offrent l'avantage de simplifier la représentation de l'évolution de la pression cylindre au cours du cycle moteur.

$$PV^n = cte$$

$$\Rightarrow \log P + n.\log V = cte$$

$$\Rightarrow \log P = cte - n.\log V$$

[0072] La figure 7 représente l'évolution le $\log(P)$ en fonction de $\log(V)$, dans un cas de pré allumage (courbe noire, N_{log}) et selon une modélisation d'une combustion conventionnelle sans pré allumage (courbe grise, R_{log}).

[0073] L'avantage de cette représentation réside dans l'exploitation de la linéarité qui lie $\log P$ et $\log V$. Cette linéarité permet en effet de gagner en capacité prédictive car la pente suivie par la compression (*Comp*) jusqu'au PMH peut être connue dès les premiers instants de cette compression. On peut donc modéliser la pression théorique en calculant la pente n à partir des mesures réalisées en début de compression.

[0074] De plus, cette méthode permet de détecter non seulement les pré allumages qui se déclenchent pendant la compression, mais également ceux qui se déclenchent pendant la détente (*Det*), puisque cette relation linéaire existe aussi pendant cette détente. Dans le cas d'un allumage (*All*) à la bougie décalé dans la détente on est donc capable de prédire le chemin que doit suivre la pression cylindre jusqu'à cet allumage.

[0075] Pour rappel, l'allumage à la bougie à très forte charge doit être décalé dans la détente pour éviter l'apparition du cliquetis. Bien que négatif en terme de rendement, ce décalage est très efficace pour éviter le cliquetis. On se retrouve alors avec une courbe de pression cylindre à deux bosses : une première bosse correspondant à la compression pure du mélange, et une seconde bosse correspondant à l'augmentation de pression générée par la combustion (figure 3). Dans ces conditions, le pré allumage peut se déclencher soit pendant la compression (cas les plus critiques), soit pendant la détente après le premier pic de compression.

[0076] Le seuil peut alors être défini par une déviance entre la courbe représentant le \log de la pression cylindre mesurée et la courbe représentant le \log de la pression cylindre théorique (modélisée) :

- par un terme $\log(P)$ absolu à ne pas dépasser $\log P_m(\alpha) < S_{13}$
- par un écart à ne pas dépasser $\log P_m(\alpha) - \log P_e(\alpha) < S_{14}$
- par un rapport à ne pas dépasser $\log P_m(\alpha) / \log P_e(\alpha) < S_{15}$

[0077] Selon un mode de réalisation, pour tous les rapports entre une grandeur expérimentale et une grandeur modélisée, notamment ceux qui risquent de s'annuler, on rend le rapport moins instable, en régularisant l'expression avec

EP 2 166 214 A1

un ou plusieurs termes constants (ici P_{0m} et P_{0e}), empêchant l'annulation ou le calcul, et permettant par ailleurs de compenser une non-linéarité stricte entre les grandeurs. Par exemple :

$$\log(P_m(\alpha) + P_m^0)/(P_e(\alpha) + P_e^0) < S_{15}$$

[0078] Ces termes sont déterminés a priori, en fonction des grandeurs attendues.

[0079] De façon avantageuse, on n'utilise non pas une grandeur mais une combinaison de grandeurs, par exemple P et V.

[0080] Enfin, pour limiter l'impact des fluctuations localisées, il est intéressant d'effectuer des comparaisons avec les seuils, non seulement avec des grandeurs prise en un angle α , mais avec des estimations de ces grandeurs sur une certaine plage angulaire (petite ou du même ordre que la durée minimale nécessaire à estimer le franchissement d'un seuil). Si l'on prend trois mesures angulaires successives $P(-1)$ $P(0)$ $P(+1)$ par exemple, une estimation de P au point 0 peut être obtenue en prenant la moyenne des $[P(-1) P(0) P(+1)]$, leur valeur médiane, leur max... ou toute combinaison avec une pondération de ces valeurs. Ceci est utile pour le calcul de la dérivée par exemple. Ce calcul peut se faire de manière récursive, c'est-à-dire en réutilisant au point 0 la mesure précédente au point -1 portant sur $[P(-2) P(-1) P(0)]$.

Application

[0081] Ainsi, lors du fonctionnement du moteur décrit en relation avec la figure 2, les moyens de mesure de pression cylindre 46a enregistrent l'évolution de cette pression au sein du cylindre 12. Ces informations sont envoyées sous forme de signal par la ligne 52 au calculateur-moteur 48. Ce calculateur estime, à chaque angle vilebrequin par exemple, la pression cylindre au moyen d'un modèle physique, et compare les pressions cylindre modélisée et mesurée, à l'aide de valeurs seuil par exemple. Cette comparaison permet au calculateur-moteur de déterminer la présence d'un début de combustion anormale de type "rumble" dans la chambre de combustion. Le calculateur-moteur envoie ensuite des instructions de commande au moyen d'alimentation en carburant sous pression 16 par les conducteurs 54 pour modifier les paramètres d'injection de façon à ce que cette combustion anormale de type "rumble" ne se reproduise pas lors des cycles suivants.

[0082] Ainsi, selon l'invention, la détection du pré allumage a lieu dès que celui-ci s'amorce, de façon à pouvoir quantifier et caractériser son évolution en temps réel. La détection peut se faire pour tout angle vilebrequin de chaque cycle moteur. Elle a donc lieu bien avant que le pré allumage ne conduise à des conditions thermodynamiques critiques pour l'intégrité du moteur. L'invention permet ainsi, d'une part de juger si ce pré allumage est critique, et d'autre part d'agir dans le cycle même de la détection pour le faire disparaître ou l'amoinrir. La détection repose sur une comparaison de signaux liés à la pression cylindre avec des signaux modélisés correspondant aux valeurs obtenus pour ces mêmes signaux dans le cas de combustion conventionnelle, c'est-à-dire sans apparition de pré allumage, et ce pour tout angle vilebrequin de chaque cycle moteur, permettant ainsi une détection extrêmement précise du phénomène, une quantification, et une action rapide.

Revendications

1. Procédé de contrôle de la combustion d'un moteur à combustion interne suralimenté à allumage commandé, dans lequel on détecte une combustion anormale dans une chambre de combustion (14) d'au moins un cylindre (12) dudit moteur, au moyen d'une mesure continue de pression $P_m(\alpha)$ au sein dudit cylindre, **caractérisé en ce que** :

a- on choisit un modèle physique décrivant, en fonction de l'angle α de rotation du vilebrequin dudit moteur, l'évolution de la pression dans le cylindre dans le cadre d'une combustion sans aucun phénomène de pré allumage ;

b- on estime une pression cylindre $P_e(\alpha)$ à partir dudit modèle et de ladite mesure de pression d'admission ;

c- on détecte le début d'une combustion anormale en comparant au moins une première valeur d'une grandeur calculée à partir de la mesure de la pression cylindre, à au moins une seconde valeur de ladite grandeur calculée à partir de l'estimation de la pression cylindre ;

d- on caractérise l'amplitude du pré allumage en répétant les étapes b) et c) pour un nombre défini d'angles vilebrequin ;

e- on contrôle le déroulement de la combustion anormale détectée dans la chambre de combustion, selon l'amplitude du phénomène de pré allumage.

EP 2 166 214 A1

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ledit modèle physique décrit l'évolution de la pression dans le cylindre en fonction de la pression d'admission et du volume de la chambre de combustion dudit cylindre.
- 5 3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel on contrôle le déroulement de la combustion anormale en introduisant dans la chambre de combustion un agent contenant du carburant, de l'eau, ou du dioxyde de carbone.
4. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel on contrôle le déroulement de la combustion anormale en faisant chuter la pression à l'intérieur de la chambre de combustion (14).
- 10 5. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel on contrôle le déroulement de la combustion anormale en ouvrant au moins une soupape additionnelle pour faire chuter la pression à l'intérieur de la chambre de combustion (14).
6. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel on contrôle le déroulement de la combustion anormale en ouvrant au moins une des soupapes (24, 30) pour faire chuter la pression à l'intérieur de la chambre de combustion (14).
- 15 7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la grandeur est un gradient de pression cylindre, et dans lequel on détecte le début d'une combustion anormale en analysant le signe dudit gradient.
- 20 8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ladite grandeur est choisie parmi l'une des grandeurs suivantes : un gradient de pression cylindre, un dégagement d'énergie, une température de gaz frais, le logarithme de la pression cylindre.
9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel on compare plusieurs grandeurs mesurées et estimées.
- 25 10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel on compare les grandeurs mesurées et estimées au moyen de seuils.

30

35

40

45

50

55

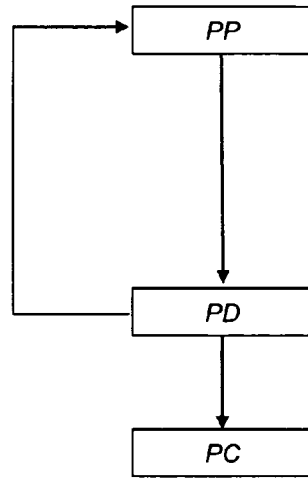


Fig. 1

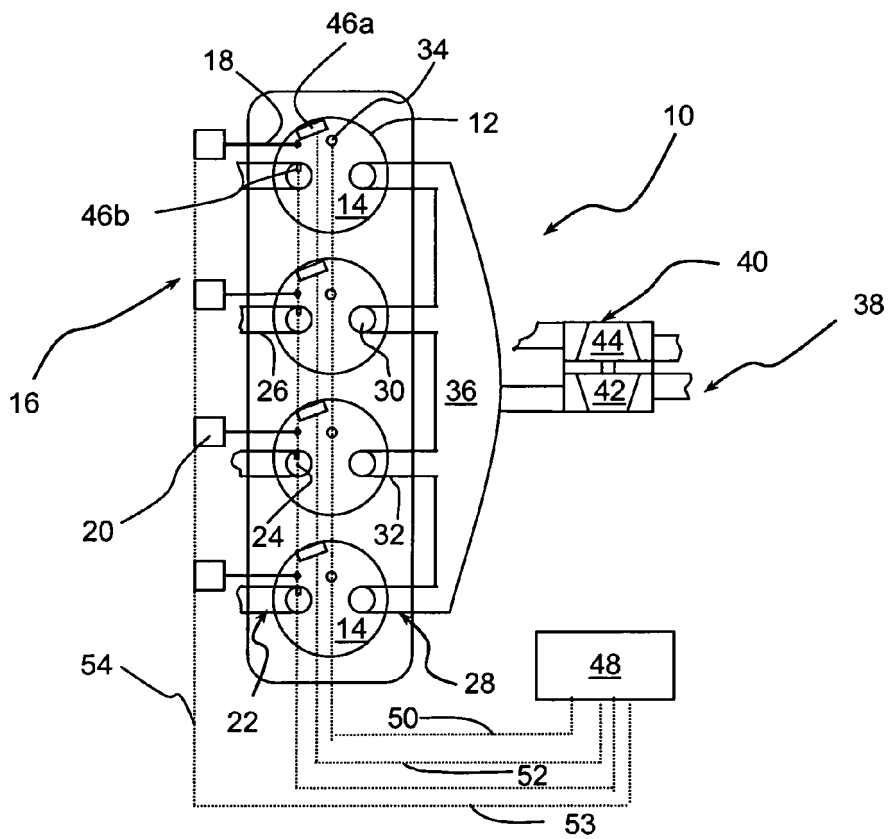


Fig. 2

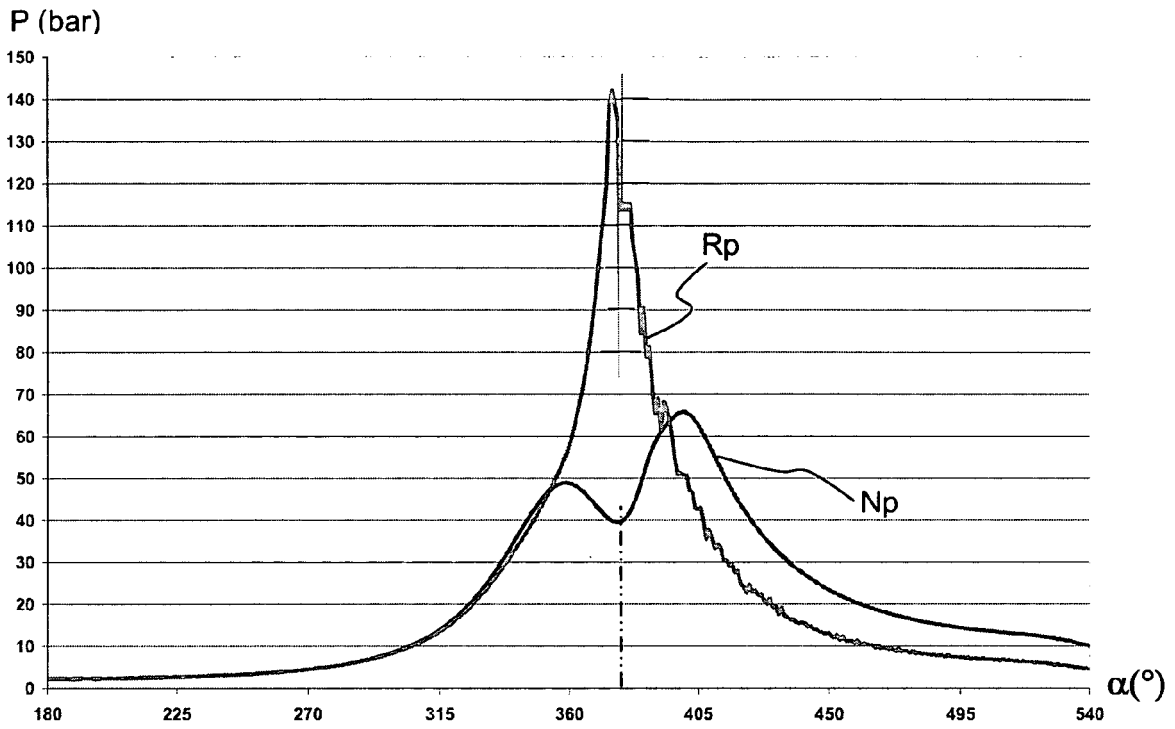


Fig. 3

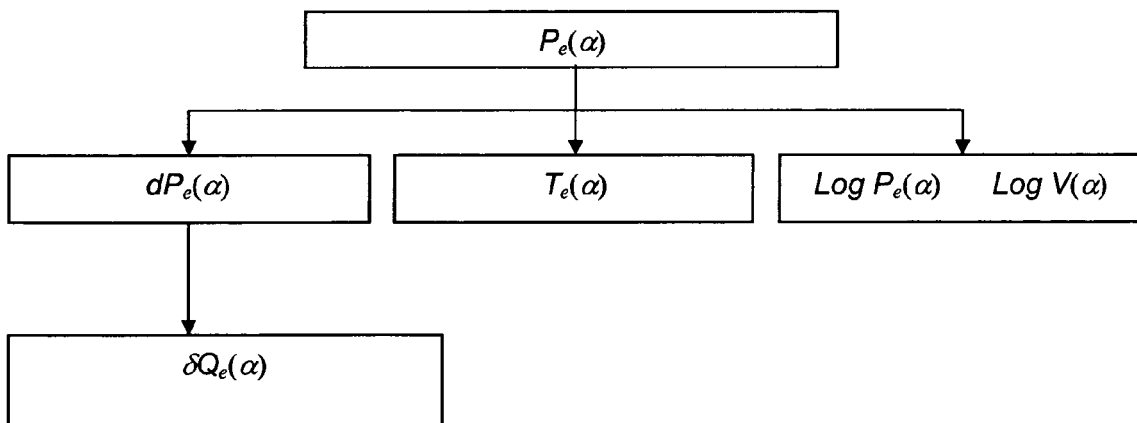


Fig. 4

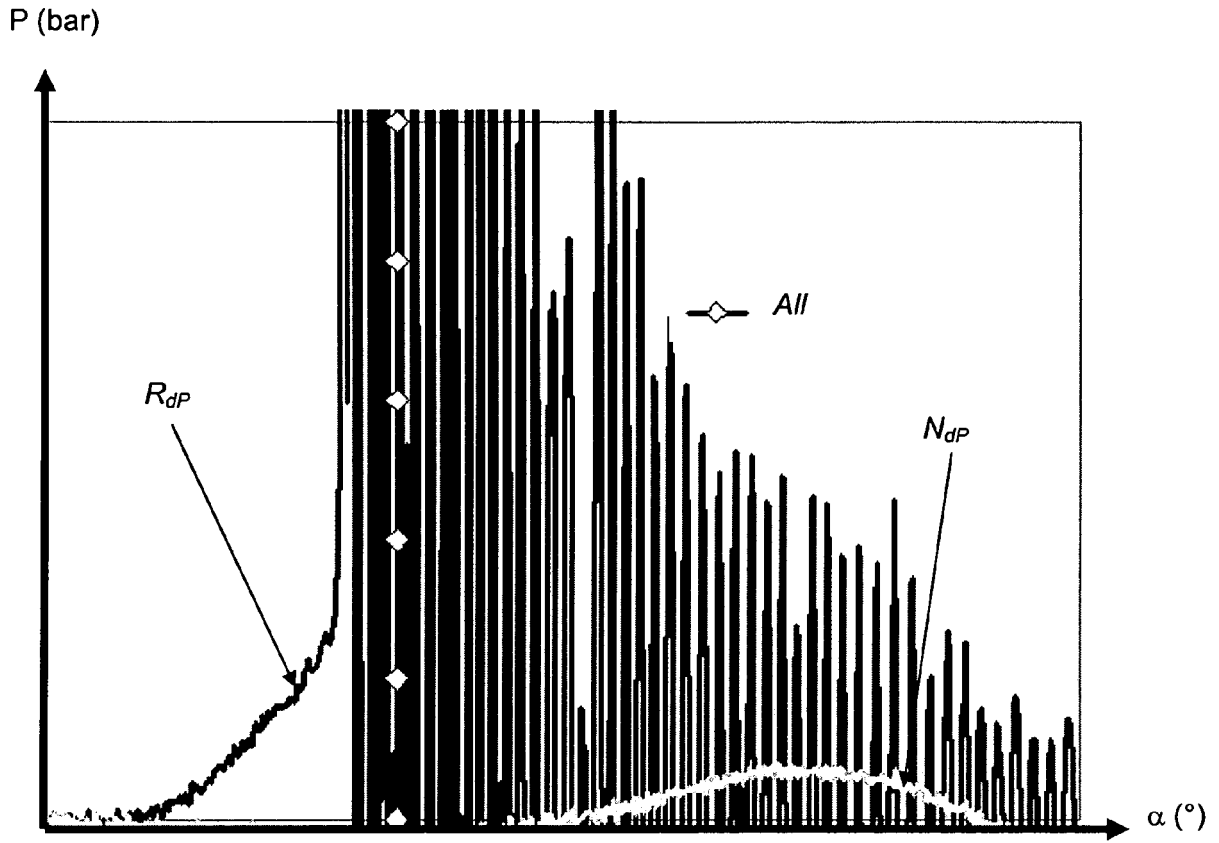


Fig. 5

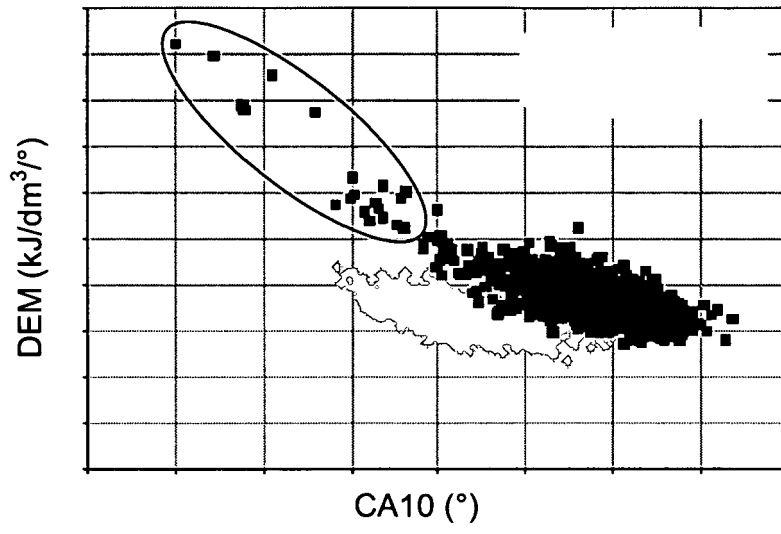


Fig. 6A

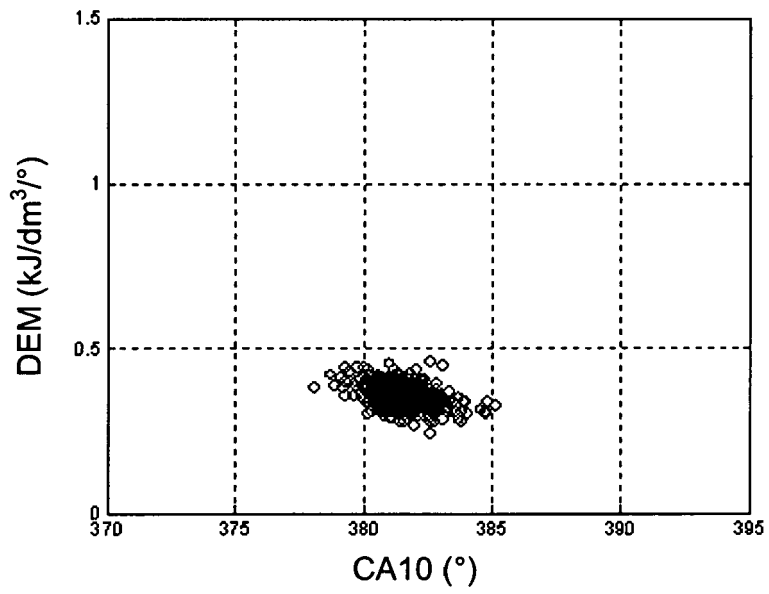


Fig. 6B

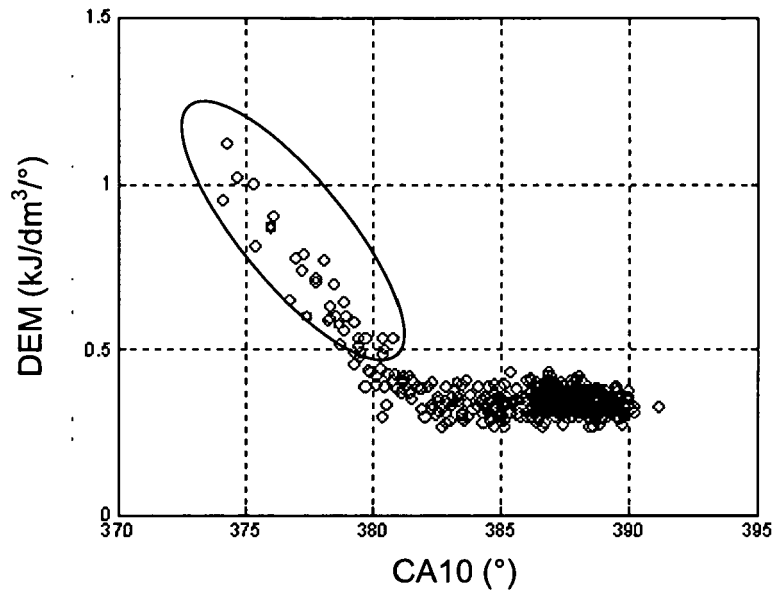


Fig. 6C

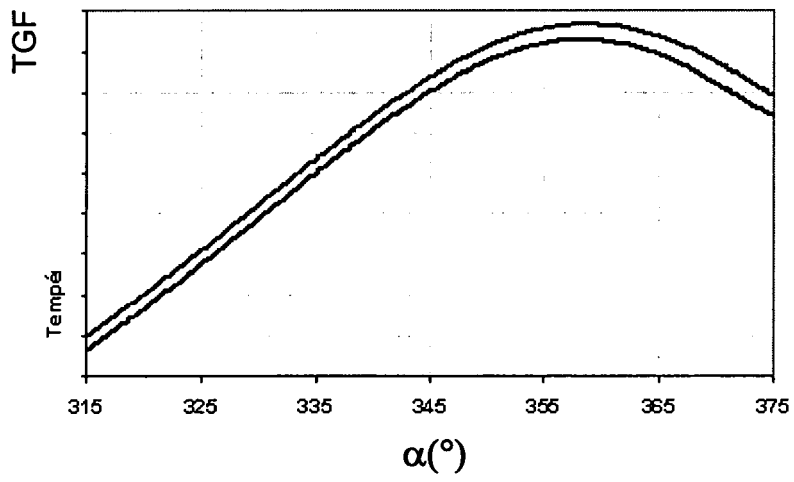


Fig. 6D

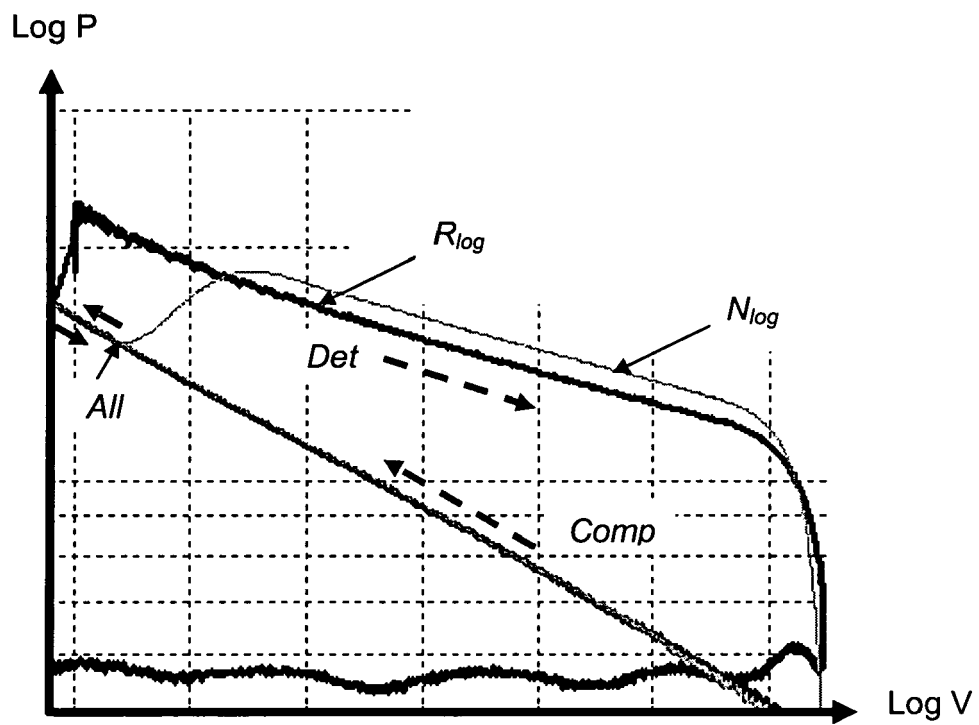


Fig. 7



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 09 29 0618

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	EP 1 826 379 A1 (INST FRANCAIS DU PETROLE [FR]) 29 août 2007 (2007-08-29) * alinéas [0006] - [0008] * * alinéas [0021], [0022] * -----	1	INV. F02D35/02
A	GB 2 331 153 A (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 12 mai 1999 (1999-05-12) * page 6, ligne 21 - page 7, ligne 11 * -----	1	ADD. F02D41/40 F02D19/12
A,D	WO 2006/067333 A1 (INST FRANCAIS DU PETROLE [FR]; GAUTROT XAVIER [FR]; MONNIER GAETAN [FR]) 29 juin 2006 (2006-06-29) * page 8, ligne 13-24 * * figure 1 * -----	1	
A	US 2007/251494 A1 (HASHIZUME MITSUO [JP] ET AL) 1 novembre 2007 (2007-11-01) * alinéas [0028] - [0040] * * figures 4,5 * -----	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			F02D
2 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 19 janvier 2010	Examineur Röttger, Klaus
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES 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 antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (F04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 09 29 0618

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

19-01-2010

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1826379	A1	29-08-2007	CN 101037970 A	19-09-2007
			FR 2897900 A1	31-08-2007
			JP 2007231948 A	13-09-2007
			US 2008035129 A1	14-02-2008

GB 2331153	A	12-05-1999	DE 19749817 A1	12-05-1999

WO 2006067333	A1	29-06-2006	EP 1828737 A1	05-09-2007
			FR 2879665 A1	23-06-2006
			JP 2008524489 T	10-07-2008
			US 2009308146 A1	17-12-2009

US 2007251494	A1	01-11-2007	JP 2007291959 A	08-11-2007

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 1828737 A [0014]
- FR 2897900 [0016]