

(19)



(11)

EP 4 028 658 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

13.05.2026 Bulletin 2026/20

(21) Numéro de dépôt: **20764095.4**

(22) Date de dépôt: **02.09.2020**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
F02D 35/02 ^(2006.01) **F02D 41/18** ^(2006.01)

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
F02D 35/023; F02D 41/18; F02D 35/024;
F02D 2200/0402; F02D 2250/14

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2020/074396

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2021/047966 (18.03.2021 Gazette 2021/11)

(54) **PROCEDE DE DETERMINATION DE LA MASSE DE GAZ ENFERMEE DANS UNE CHAMBRE DE COMBUSTION**

VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER IN EINER BRENNKAMMER EINGESCHLOSSENEN
GASMASSE

METHOD FOR DETERMINING THE MASS OF GAS ENCLOSED IN A COMBUSTION CHAMBER

(84) Etats contractants désignés:

**AL 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 RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **13.09.2019 FR 1910139**

(43) Date de publication de la demande:
20.07.2022 Bulletin 2022/29

(73) Titulaire: **IFP Energies nouvelles
92852 Rueil-Malmaison (FR)**

(72) Inventeurs:

- **KASSA, Mateos
92852 RUEIL-MALMAISON CEDEX (FR)**
- **LEROY, Thomas
92852 RUEIL-MALMAISON CEDEX (FR)**

(74) Mandataire: **IFP Energies nouvelles
Département Propriété Industrielle
Rond Point de l'échangeur de Solaize
BP3
69360 Solaize (FR)**

(56) Documents cités:

**WO-A1-2007/060349 WO-A1-2015/082731
WO-A1-2017/093638 DE-A1- 102012 221 311
DE-A1- 4 126 182 US-B1- 9 587 552**

- **PAU BARES: "In-cylinder pressure resonance analysis for trapped mass estimation in automotive engines", 30 June 2017 (2017-06-30), Valencia, XP055690937, Retrieved from the Internet <URL:https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/90423/Bares%20-%20In-cylinder%20pressure%20resonance%20analysis%20for%20trapped%20mass%20estimation%20in%20automotive%20engines.pdf?sequence=1> [retrieved on 20200430]**
- **J A ENG ET AL: "2002-01-2859 Characterization of Pressure Waves in HCCI Combustion Reprinted From: Homogeneous Charge Compression Ignition Engines (SP-1718)", 21 October 2002 (2002-10-21), pages 776 - 4841, XP055690813, Retrieved from the Internet <URL:https://saemobilus.sae.org/content/2002-01-2859/> [retrieved on 20200430]**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 4 028 658 B1

Description

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine de la détermination de la masse de gaz enfermée dans une chambre de combustion d'un moteur à combustion interne.

[0002] La masse de gaz enfermée dans une chambre de combustion est un paramètre utile notamment pour le contrôle des moteurs à combustion interne, pour les tests des moteurs à combustion interne, afin d'analyser notamment la combustion, d'améliorer les stratégies de contrôle de la combustion, d'améliorer le comportement cycle à cycle et entre cylindres d'un moteur à combustion interne. La connaissance de ce paramètre est important en particulier pour les moteurs à allumage commandé et pour les moteurs Diesel équipés d'une recirculation des gaz d'échappement (EGR) et/ou d'une distribution variable.

Technique antérieure

[0003] Aucun capteur ne permet de mesurer directement la masse de gaz enfermée dans une chambre de combustion. C'est pourquoi, plusieurs méthodes ont été développées pour estimer ce paramètre. Toutefois, aucune méthode ne permet de disposer d'une information fiable.

[0004] En particulier, certaines méthodes sont basées sur des mesures de la pression d'admission, qui peut ne pas représenter de manière fiable les phénomènes physiques mis en jeu au sein de la chambre de combustion. D'autres méthodes nécessitent des techniques de traitement de signal qui peuvent être complexes, longues et qui peuvent également générer des imprécisions sur la masse de gaz enfermée estimée.

[0005] La demande de brevet WO 2007060349 décrit une méthode basée sur l'utilisation d'un capteur de pression dans le cylindre et d'un capteur de température en aval de la soupape d'échappement. Ainsi, cette méthode nécessite une instrumentation spécifique du moteur à combustion interne. En outre, cette méthode reconstruit la température du gaz dans le cylindre à partir de la mesure du capteur de température en aval de la soupape d'échappement. Cette reconstruction génère des approximations, qui influent sur la précision de la masse de gaz enfermée estimée.

[0006] La demande de brevet WO 2015082731 décrit une méthode basée sur l'estimation de la fréquence de résonance de la pression dans la chambre de combustion au moyen d'une transformée de Fourier, qui est un traitement du signal issu du capteur de pression. Cette estimation de la fréquence de résonance manque de précision pour une estimation précise de la masse de gaz enfermée. En outre, cette méthode utilise la résolution des équations de Bessel, ayant pour hypothèse que la chambre de combustion est un cylindre parfait. Ce-

pendant, les chambres de combustion des moteurs à combustion interne ne sont pas purement cylindriques. L'estimation obtenue par cette méthode se retrouve par conséquent erronée en raison de cette hypothèse. De plus, cette méthode nécessite des oscillations d'amplitudes importantes. La thèse de Pau Bares "In-cylinder pressure resonance analysis for trapped mass estimation in automotive engines" (30 juin 2017 (2017-06-30), Valencia) divulgue une calculation de la masse d'air et du combustible dans la chambre de combustion.

Résumé de l'invention

[0007] La présente invention a pour but de déterminer de manière précise la masse de gaz enfermée dans une chambre de combustion d'un moteur à combustion interne, avec une instrumentation simple et classique, et sans traitement du signal complexe. Dans ce but, le procédé de détermination de la masse de gaz enfermée dans une chambre de combustion selon l'invention se base sur la seule mesure de la pression au sein de la chambre de combustion. Le procédé met en œuvre un modèle de la chambre de combustion, dont un des paramètres, la fréquence d'oscillations de pression, est déterminée avec la mesure de la pression de gaz dans la chambre de combustion. Ainsi, le procédé selon l'invention est précis, fiable, et nécessite une instrumentation simple.

[0008] L'invention selon la revendication 1 concerne un procédé de détermination de la masse de gaz enfermée dans une chambre de combustion d'un moteur à combustion interne, dans lequel on met en œuvre les étapes suivantes :

- a) On mesure la pression P dudit gaz dans ladite chambre de combustion ;
- b) On détermine les oscillations de ladite pression de gaz P à partir de ladite mesure de pression P dudit gaz ;
- c) On détermine ladite masse de gaz enfermée m au

moyen de la formule $m = \frac{\gamma PV}{\lambda^2 f^2}$ et par détermination de la fréquence d'oscillations f de pression avec lesdites oscillations mesurées, V étant le volume de ladite chambre de combustion, λ la longueur d'onde dans ladite chambre de combustion, P ladite pression mesurée dudit gaz dans ladite chambre de combustion, et γ le rapport thermique spécifique.

[0009] Selon un mode de réalisation, ledit volume V de ladite chambre de combustion est obtenu au moyen d'une cartographie en fonction de l'angle vilebrequin dudit moteur à combustion interne.

[0010] Selon l'invention, ladite longueur d'onde λ est obtenue au moyen d'une cartographie en fonction de l'angle vilebrequin dudit moteur à combustion interne.

[0011] Selon l'invention, ladite cartographie de ladite longueur d'onde λ est construite préalablement numéri-

quement.

[0012] Selon l'invention, ladite cartographie de ladite longueur d'onde λ est construite par une approche par éléments finis en trois dimensions.

[0013] Selon un aspect de l'invention, on détermine ledit rapport thermique spécifique γ en prenant en compte la composition de ladite masse enfermée, et au moyen de la capacité thermique des composants de ladite masse enfermée.

[0014] Conformément à une caractéristique, on détermine ladite masse de gaz enfermée en temps réel.

[0015] Selon l'invention, on détermine la fréquence d'oscillations de pression f en mettant en œuvre les étapes suivantes de calibration :

i) On considère au moins deux masses de gaz enfermées prédéfinies $m_1, \dots, m_n$;

ii) On détermine un rapport thermique spécifique γ pour chaque masse de gaz enfermée prédéfinie $m_1, \dots, m_n$;

iii) On détermine au moyen de ladite formule

$$m = \frac{\gamma PV}{\lambda^2 f^2} \text{ une fréquence d'oscillations de pres-}$$

sion f pour chaque masse de gaz enfermée prédéfinie $m_1, \dots, m_n$ en fonction de ladite pression de gaz P mesurée, dudit volume V de la chambre de combustion, de ladite longueur d'onde λ et dudit rapport thermique spécifique γ déterminé ; et

iv) On compare chaque fréquence d'oscillations de pression f déterminée avec lesdites oscillations de pression mesurées, et on détermine ladite masse de gaz enfermée en tant que la masse prédéfinie pour laquelle la fréquence d'oscillations de pression f minimise ladite comparaison.

[0016] De manière avantageuse, on détermine chaque rapport thermique spécifique γ de chaque masse de gaz enfermée prédéfinie $m_1, \dots, m_n$ en mettant en œuvre les étapes suivantes :

(1) On détermine la composition de ladite masse enfermée ;

(2) On détermine une relation qui relie ledit rapport thermique spécifique γ et la capacité du gaz c_p dans

ladite chambre de combustion : $\gamma = \frac{c_p}{c_p - R}$ avec R

la constante du gaz, et la capacité du gaz c_p étant fonction de la température dudit gaz et de ladite composition de ladite masse enfermée ;

(3) On détermine la température dudit gaz au moyen de la loi des gaz parfaits appliquée à chaque masse enfermée prédéfinie $m_1, \dots, m_n$; et

(4) On en déduit ledit rapport thermique spécifique γ pour chaque masse enfermée prédéfinie $m_1, \dots, m_n$.

[0017] Alternativement, on détermine la fréquence d'oscillations de pression f au moyen d'une moyenne sur une fenêtre temporelle desdites oscillations détermi-

nées.

[0018] Selon une mise en œuvre, on détermine une longueur d'onde λ pour chaque mode d'oscillations de ladite pression dudit gaz.

[0019] D'autres caractéristiques et avantages du procédé selon l'invention, apparaîtront à la lecture de la description ci-après d'exemples non limitatifs de réalisations, en se référant aux figures annexées et décrites ci-après.

Liste des figures

[0020]

La figure 1 illustre un cylindre d'un moteur à combustion interne.

La figure 2 illustre les étapes du procédé selon un mode de réalisation de l'invention.

La figure 3 illustre les étapes de la calibration de la fréquence d'oscillations de pression selon un mode de réalisation de l'invention.

La figure 4 illustre un graphique de la masse relative de gaz estimée par le procédé selon l'invention pour un exemple.

Description des modes de réalisation

[0021] La présente invention concerne un procédé de détermination de la masse de gaz enfermée dans une chambre de combustion d'un moteur à combustion interne.

[0022] De manière classique, un moteur à combustion interne comprend au moins un cylindre, un piston coulisant dans ce cylindre en un mouvement rectiligne alternatif, des moyens d'admission d'un comburant (gaz), des moyens d'échappement de gaz brûlés, une chambre de combustion, et des moyens d'injection pour injecter un combustible dans la chambre de combustion. La chambre de combustion est agencée dans la partie haute de cylindre, et son volume varie par le déplacement du piston dans le cylindre. La figure 1 illustre, schématiquement et de manière non limitative, un cylindre 1 d'un moteur à combustion interne selon un mode de réalisation de l'invention. Sur cette figure, les moyens d'admission, d'échappement, d'injection, et les éventuels moyens d'allumage ne sont pas représentés. Au sein du cylindre 1 se déplace un piston 6 selon un mouvement rectiligne alternatif. La chambre de combustion 2 est la zone où se produit la combustion, elle est limitée par la partie supérieure du piston 6, la paroi latérale 4 du cylindre, et le toit du cylindre 5. Cette zone correspond à la zone blanche de la figure 1. En outre, pour le procédé selon l'invention, le cylindre comporte un capteur de pression 3, qui mesure la pression du gaz dans la chambre de combustion 2.

[0023] Le moteur à combustion interne peut être de tout type, à allumage commandé ou à auto-inflammation, avec ou sans recirculation des gaz d'échappement, avec ou sans suralimentation. Toutefois, le procédé selon l'invention est particulièrement adapté aux moteurs à allumage commandé, et aux moteurs à auto-inflammation équipés d'une recirculation des gaz d'échappement (EGR) et/ou d'une distribution variable.

[0024] Par les termes gaz ou comburant, il est compris de l'air à pression ambiante ou de l'air suralimenté ou encore un mélange d'air (suralimenté ou non) avec des gaz brûlés.

[0025] Le procédé de détermination de la masse de gaz enfermée selon l'invention utilise un unique capteur : un capteur de pression dans la chambre de combustion. L'utilisation d'un unique capteur permet de limiter l'instrumentation du moteur. De plus, la mesure de la pression dans la chambre de combustion permet d'avoir directement des informations relatives au comportement du gaz dans la chambre de combustion, contrairement à un capteur placé à l'admission ou à l'échappement qui nécessiterait de reconstruire la pression dans la chambre de combustion. Un tel capteur présente également l'avantage d'équiper classiquement un banc moteur, et les moteurs à combustion interne des véhicules récents, en particulier pour les nouveaux moteurs à auto-inflammation, ce qui facilite la mise en œuvre du procédé, et ce qui limite son coût.

[0026] Le procédé selon l'invention comporte les étapes suivantes :

- Mesure de la pression du gaz dans la chambre de combustion ;
- Détermination des oscillations de la pression de gaz mesurée ; et
- Détermination de la masse de gaz enfermée par détermination de la fréquence d'oscillations avec les mesures.

[0027] Ces étapes seront détaillées dans la suite de la description.

[0028] Selon un mode de réalisation de l'invention, ces étapes peuvent être mises en œuvre en temps réel, afin de déterminer en temps réel la masse de gaz enfermée, facilitant l'exploitation de ce paramètre.

[0029] De plus, ces étapes peuvent être mises en œuvre en ligne, sur un moteur à combustion interne d'un véhicule ou sur un banc moteur.

[0030] Les étapes de détermination des oscillations de la pression de gaz et de la détermination de la masse de gaz enfermée peuvent être mises en œuvre par des moyens informatiques, notamment un calculateur équipant le moteur à combustion interne.

[0031] La figure 2 illustre, schématiquement et de manière non limitative, les étapes du procédé selon l'invention. La première étape consiste à mesurer la pression du gaz MES P dans la chambre de combustion, au moyen d'un capteur de pression. La deuxième étape consiste à

déterminer les oscillations de pression de gaz OSC P à partir de la mesure de pression de gaz réalisée précédemment. Ensuite, on détermine la masse de gaz enfermée m par détermination DET f de la fréquence d'oscillations f de pression avec les oscillations de pression déterminées à l'étape précédente.

1) Mesure de la pression du gaz

[0032] Lors de cette étape, on mesure la pression du gaz dans la chambre de combustion, au moyen d'un capteur de gaz placé dans la chambre de combustion.

2) Détermination des oscillations de la pression

[0033] Lors de cette étape, on détermine les oscillations de la pression de gaz, au cours du temps, à partir de la pression du gaz. Ainsi, on peut connaître précisément les phénomènes physiques mis en œuvre dans la chambre de combustion.

[0034] Selon un mode de réalisation, cette étape peut être mise en œuvre au moyen d'un filtre, de préférence au moyen d'un filtre passe bande autour de la fréquence d'intérêt. Selon un exemple non limitatif, on peut mettre en œuvre un filtre passe bande entre 5 et 9 kHz. De manière non limitative, on peut utiliser un filtre Butterworth.

3) Détermination de la masse de gaz enfermée

[0035] Lors de cette étape, on détermine la masse de gaz enfermée m au moyen de la formule $m = \frac{\gamma PV}{\lambda^2 f^2}$

(appelée également modèle de la chambre de combustion) et par détermination de la fréquence d'oscillations f de pression avec les oscillations mesurées déterminées à l'étape précédente. Dans cette formule, V est le volume de la chambre de combustion (variable dans le temps), λ est la longueur d'onde dans la chambre de combustion, P la pression mesurée du gaz dans la chambre de combustion, et γ le rapport thermique spécifique.

[0036] La formule $m = \frac{\gamma PV}{\lambda^2 f^2}$ est obtenue à partir de la loi des gaz parfaits : $PV = mRT$, de l'équation de la fréquence d'oscillations $f = \frac{c}{\lambda}$ et de l'équation de la

vitesse du son $c = \sqrt{\gamma RT}$, c étant la vitesse instantanée du son dans la chambre de combustion. Ainsi, la formule est représentative des phénomènes physiques du gaz dans la chambre de combustion, ce qui permet l'obtention précise de la masse de gaz enfermée.

[0037] Selon un mode de réalisation de l'invention, le volume V de la chambre de combustion peut être obtenu au moyen d'une cartographie ou une table du volume de la chambre de combustion en fonction de l'angle vilebrequin du moteur à combustion interne. Cette cartographie traduit les variations du volume lié au mouvement du

piston. L'utilisation d'une telle cartographie permet de rendre la détermination du volume de la chambre de combustion rapide, et utilisable en temps réel.

[0038] La longueur d'onde λ dépend de la position du piston (elle est donc variable dans le temps) et de la forme de la chambre de combustion. Conformément à une mise en œuvre de l'invention, la longueur d'onde λ peut être obtenue au moyen d'une cartographie de la longueur d'onde λ en fonction de l'angle vilebrequin du moteur à combustion interne. L'utilisation d'une telle cartographie permet de rendre la détermination de la longueur d'onde λ rapide, et utilisable en temps réel.

[0039] Pour cette mise en œuvre, la cartographie de la longueur d'onde λ peut être construite préalablement et numériquement. La détermination numérique de la longueur d'onde λ , permet de déterminer une longueur d'onde λ pour toute forme de la chambre de combustion.

[0040] Ainsi, la détermination de la masse enfermée ne comporte pas d'approximation liée à la forme de la chambre de combustion.

[0041] Selon un aspect préféré de cette mise en œuvre, la cartographie de la longueur d'onde λ peut être construite par une approche par éléments finis en trois dimensions (appliquée à la chambre de combustion) pour résoudre l'équation d'onde en trois dimensions à chaque angle vilebrequin, et pour ainsi déterminer le rapport entre la fréquence d'oscillations de pression et la vitesse imposée du son. Les entrées de l'approche par éléments finis peuvent être :

- La géométrie de la chambre de combustion à chaque angle vilebrequin,
- L'équation d'onde à résoudre : $\Delta P = \frac{1}{c^2} \frac{\delta^2 P}{\delta t^2}$ avec la vitesse du son c fixe,
- Les conditions aux limites : $\nabla P \cdot n = 0$, n étant le vecteur normal à la paroi du cylindre,
- Les conditions initiales : source, c'est-à-dire un gradient de pression localisé utilisé pour initialiser le calcul.

[0042] La résolution de l'équation d'onde permet de surveiller les oscillations de pression à différents endroits de la chambre de combustion ; par la suite, les fréquences d'oscillations peuvent être dérivées via une simple analyse de densité spectrale et les longueurs d'onde associées à chaque mode d'oscillation peuvent être calculées, pour chaque angle vilebrequin.

[0043] Alternativement, la longueur d'onde λ peut être déterminée par d'autres méthodes, par exemple analytiquement.

[0044] De préférence, on peut déterminer une longueur d'onde λ pour chaque mode d'oscillations de la pression de gaz, de manière à obtenir une information plus précise.

[0045] Le rapport thermique spécifique γ dépend du temps et varie d'un point de fonctionnement à l'autre du moteur à combustion interne.

[0046] Selon un mode de réalisation de l'invention, on peut déterminer le rapport thermique spécifique γ en prenant en compte la composition de la masse enfermée dans la chambre de combustion, et au moyen de la capacité thermique des composants de la masse enfermée dans la chambre de combustion.

[0047] Pour ce mode de réalisation, on peut prendre en compte la fraction volumique des composants du carburant injecté dans la chambre de combustion (par exemple la fraction volumique d'éthanol dans une essence), le rapport quantité d'air par quantité de carburant dans la chambre de combustion par rapport au rapport stœchiométrique, et la proportion de gaz imbrûlés dans la chambre de combustion. De plus, ce mode de réalisation peut mettre en œuvre les étapes suivantes :

- On détermine les coefficients de la formule chimique du carburant, par exemple les coefficients x, y, z pour un carburant de la forme $C_x H_y O_z$ (lorsque le carburant n'est pas un mélange, et lorsque le carburant est un mélange on peut pondérer les coefficients des composants de base du carburant, en fonction de la fraction volumique des composants du carburant) ;
- On détermine la capacité thermique du mélange non brûlé dans la chambre de combustion, en prenant en compte les coefficients de la formule chimique du carburant (par exemple x, y, z), et le rapport quantité d'air par quantité de carburant dans la chambre de combustion par rapport au rapport stœchiométrique. On peut se servir de l'équation bilan de la combustion (pour déterminer la concentration des composants de l'air et du carburant) et d'une équation de capacité C_p thermique de chaque composant de l'équation bilan, cette équation pouvant être de la forme $C_p(T) = a + b \times T + c \times T^2 + d \times T^3 + e \times T^4$ avec T la température dans la chambre de combustion, et a, b, c, d et e des coefficients obtenus par des tables (ex : Table de JANAF) pour chaque composant du mélange non brûlé,
- On détermine la capacité thermique du mélange brûlé dans la chambre de combustion, en prenant en compte les coefficients de la formule chimique du carburant (par exemple x, y, z), la méthodologie pouvant être identique à celle décrite pour la capacité thermique du mélange non brûlé. On peut se servir de l'équation bilan de la combustion (pour déterminer la concentration des composants du mélange brûlé) et des équations de capacité C_p thermique de chaque composant.
- On détermine la capacité thermique du mélange carburé par association de la capacité thermique du mélange brûlé et de la capacité thermique du mélange non brûlé, selon un mode de réalisation de cette étape, on peut, par exemple, considérer que le mélange carburé comprend 50% de mélange brûlé et 50% de mélange non brûlé (ou toute autre répartition),
- On détermine le rapport de capacité thermique γ par

l'équation $\gamma = \frac{c_p}{c_p - R}$ avec c_p la capacité thermique du mélange carburé déterminée à l'étape précédente, et R la constante des gaz parfaits.

[0048] Pour la mise en œuvre de ce mode de réalisation, la température T du mélange peut être déduite de la loi des gaz parfaits $PV = mRT$ en sélectionnant au moins une masse de gaz enfermée hypothétique, P , V et R étant connus par ailleurs.

[0049] Selon un deuxième mode de réalisation, le rapport de capacité thermique peut être obtenu par une formule du type $\gamma = \frac{-PdV}{VdP}$ sur la base d'une hypothèse d'un comportement adiabatique.

[0050] Conformément à une mise en œuvre de l'invention, on peut déterminer la fréquence d'oscillations de pression en mettant en œuvre une calibration au moyen des étapes suivantes:

- On considère au moins deux masses de gaz enfermées prédéfinies $m_1, \dots, m_n$, il s'agit d'au moins deux masses de gaz enfermées possibles, n est un entier supérieur ou égal à 2, selon un aspect de l'invention, les masses de gaz enfermées prédéfinies $m_1, \dots, m_n$ sont contenues dans une liste prédéfinie préalablement au déroulé du procédé,
- On détermine un rapport thermique spécifique γ pour chaque masse de gaz enfermée prédéfinie $m_1, \dots, m_n$, par exemple on peut déduire de chaque masse de gaz enfermée prédéfinie $m_1, \dots, m_n$ une température T dans la chambre de combustion, et en appliquant les étapes décrites ci-dessus, on peut en déduire la capacité thermique du mélange c_p , qui est ensuite utilisée pour obtenir le rapport thermique spécifique γ en fonction de l'angle vilebrequin,
- On détermine au moyen de la formule $m = \frac{\gamma PV}{\lambda^2 f^2}$ une fréquence d'oscillations de pression f pour chaque masse de gaz enfermée prédéfinie $m_1, \dots, m_n$ en fonction de la pression mesurée P et des paramètres déterminés, le volume V de la chambre de combustion et la longueur d'onde λ , et le rapport thermique spécifique γ déterminé à l'étape précédente, en d'autres termes on inverse la formule $m = \frac{\gamma PV}{\lambda^2 f^2}$ pour obtenir une équation $f = \sqrt{\frac{\gamma PV}{m \lambda^2}}$ dont tous les paramètres sont déterminés (P , V , γ , λ) ou prédéfini (m),
- On compare chaque fréquence d'oscillations de pression f obtenue à l'étape précédente avec les oscillations de pression mesurée (déterminées à l'étape 2), et on détermine la masse de gaz enfermée en tant qu'une des masses de gaz enfermées prédéfinies $m_1, \dots, m_n$, pour laquelle la fréquence d'os-

cillations de pression f minimise la comparaison, en d'autres termes, la masse de gaz enfermée déterminée par le procédé est une des masses de gaz enfermées prédéfinies $m_1, \dots, m_n$: celle pour laquelle la différence entre la fréquence d'oscillation de pression f et les oscillations de pression mesurée est minimale. La comparaison peut consister en une comparaison des oscillations. De préférence, seule la fréquence des oscillations de pression mesurée est utilisée pour la calibration, l'amplitude de celles-ci n'est pas utile pour la comparaison. De préférence, cette étape peut consister en une génération des oscillations de pression avec les différentes fréquences déterminées puis on compare les oscillations obtenues avec celles déterminées à l'étape 2, et on choisit le signal pour lequel l'oscillation du signal est comparable aux oscillations de la pression mesurée.

[0051] La figure 3 illustre, schématiquement et de manière non limitative, cette mise en œuvre de cette étape de l'invention. Dans un premier temps, on prédéfinit au moins deux masses de gaz enfermées $m_1, \dots, m_n$. On en déduit au moins deux rapports thermiques $\gamma_1, \dots, \gamma_n$ qui correspondent aux masses de gaz enfermées prédéfinies $m_1, \dots, m_n$. Ensuite, on calcule au moins deux fréquences d'oscillations de pression $f_1, \dots, f_n$ qui correspondent aux masses de gaz enfermées prédéfinies

$m_1, \dots, m_n$, au moyen de l'équation $f = \sqrt{\frac{\gamma PV}{m \lambda^2}}$ qui

découle de la formule $m = \frac{\gamma PV}{\lambda^2 f^2}$. Ces valeurs sont comparées (COMP) avec les oscillations de pression mesurée OSC, pour choisir la fréquence d'oscillations f parmi les fréquences d'oscillations de pression $f_1, \dots, f_n$ qui se rapproche le plus de la fréquence des oscillations de pression mesurée OSC. La masse de gaz enfermée déterminée par le procédé selon l'invention est alors la masse de gaz enfermée parmi les masses de gaz enfermées $m_1, \dots, m_n$ qui correspond à la fréquence d'oscillations de pression f choisie.

[0052] En variante, la fréquence d'oscillation f peut être obtenue par toute autre méthode de calibration, par exemple par une méthode de minimisation d'une fonction objectif.

[0053] Alternativement, la fréquence d'oscillation peut être déterminée au moyen d'une moyenne sur une fenêtre temporelle desdites oscillations déterminées lors de l'étape 2).

[0054] Comme il va de soi, l'invention ne se limite pas aux seules formes de réalisation des étapes du procédé décrites ci-dessus à titre d'exemple, elle embrasse au contraire toutes les variantes de réalisation.

Exemple

[0055] Les caractéristiques et avantages du procédé

selon l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de l'exemple d'application ci-après.

[0056] L'exemple concerne la comparaison de la masse de gaz enfermée déterminée selon le procédé selon l'invention, avec la masse de gaz enfermée déterminée par simulation LES. Pour cet exemple, on considère un moteur à combustion interne suralimenté ayant une vitesse de rotation à 5500 tr/min, et on considère 23 cycles critiques qui ont été identifiés comme ayant des niveaux d'oscillations de pressions variables. Pour cet exemple, la chambre de combustion du moteur à combustion interne est équipée de deux capteurs de pression à des positions différentes au sein de la chambre de combustion.

[0057] La figure 4 est un graphique illustrant la masse m de gaz enfermée dans la chambre de combustion en fonction du numéro N du cycle considéré. La masse m utilisée dans ce graphique est une valeur relative qui correspond au ratio de la masse de gaz enfermée dans la chambre de combustion obtenue par le procédé selon l'invention par rapport à la masse de gaz enfermée dans la chambre de combustion obtenue par simulation. Ainsi, une valeur proche de 1 indique une bonne corrélation entre les valeurs simulées et les valeurs obtenues par le procédé selon l'invention. A chaque N correspond deux masses de gaz enfermées, chacune étant obtenue par un des deux capteurs de pression utilisé. On remarque que les valeurs (représentées par les points) et leur moyenne représentée par le segment pointillé sont très proches de la valeur un. Ainsi, le procédé selon l'invention permet de déterminer de manière précise la masse de gaz enfermée dans la chambre de combustion. De plus, les points et les moyennes des deux capteurs de pression sont proches. Par conséquent, le procédé selon l'invention est bien indépendant de la position du capteur dans la chambre de combustion.

Revendications

1. Procédé de détermination de la masse de gaz enfermée dans une chambre de combustion (2) d'un moteur à combustion interne, dans lequel on met en œuvre les étapes suivantes :

- a) On mesure la pression P (MES P) dudit gaz dans ladite chambre de combustion (2) ;
- b) On détermine les oscillations de ladite pression de gaz P (OSC P) à partir de ladite mesure de pression P dudit gaz ;
- c) On détermine ladite masse de gaz enfermée

m au moyen de la formule $m = \frac{\gamma PV}{\lambda^2 f^2}$ et par détermination de la fréquence d'oscillations f de pression (DET f) avec lesdites oscillations mesurées, V étant le volume de ladite chambre de combustion, λ la longueur d'onde dans ladite

chambre de combustion (2), P ladite pression mesurée dudit gaz dans ladite chambre de combustion, et γ le rapport thermique spécifique, on détermine la fréquence d'oscillations de pression f (DET f) en mettant en œuvre les étapes suivantes de calibration :

- i) On considère au moins deux masses de gaz enfermées prédéfinies $m_1, \dots, m_n$;
- ii) On détermine un rapport thermique spécifique γ pour chaque masse de gaz enfermée prédéfinie $m_1, \dots, m_n$;
- iii) On détermine au moyen de ladite formule

$$m = \frac{\gamma PV}{\lambda^2 f^2} \text{ une fréquence d'oscillations de}$$

pression f pour chaque masse de gaz enfermée prédéfinie $m_1, \dots, m_n$ en fonction de ladite pression de gaz P mesurée, dudit volume V de la chambre de combustion, de ladite longueur d'onde λ et dudit rapport thermique spécifique γ déterminé ; et

iv) On compare (COMP) chaque fréquence d'oscillations de pression f déterminée avec lesdites oscillations de pression mesurées (OSC), et on détermine ladite masse de gaz enfermée m en tant que la masse prédéfinie pour laquelle la fréquence d'oscillations de pression f minimise ladite comparaison,

ladite longueur d'onde λ étant obtenue au moyen d'une cartographie en fonction de l'angle vilebrequin dudit moteur à combustion interne, ladite cartographie étant construite préalablement numériquement par une approche par éléments finis en trois dimensions.

2. Procédé de détermination de la masse de gaz enfermée selon la revendication 1, dans lequel ledit volume V de ladite chambre de combustion (2) est obtenu au moyen d'une cartographie en fonction de l'angle vilebrequin dudit moteur à combustion interne.

3. Procédé de détermination de la masse de gaz enfermée selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ladite cartographie pour obtenir la ladite longueur d'onde λ est construite préalablement numériquement par une approche par éléments finis en trois dimensions dont les entrées sont : - la géométrie de la chambre de combustion à chaque angle vilebrequin, - l'équation d'onde à résoudre $P = \frac{1}{c^2} \frac{\delta^2 p}{\delta t^2}$

avec la vitesse du son c fixe, - les conditions aux limites $\nabla P \cdot n = 0$, n étant le vecteur ormal à la paroi du cylindre, - les conditions initiales : un gradient de pression localisé utilisé pour initialiser le calcul.

4. Procédé de détermination de la masse de gaz en-

fermée selon l'une des revendications précédentes, dans lequel on détermine ledit rapport thermique spécifique γ en prenant en compte la composition de ladite masse enfermée, et au moyen de la capacité thermique des composants de ladite masse enfermée.

5. Procédé de détermination de la masse de gaz enfermée selon l'une des revendications précédentes, dans lequel on détermine ladite masse de gaz enfermée en temps réel.

6. Procédé de détermination de la masse de gaz enfermée selon l'une des revendications précédentes, dans lequel on détermine chaque rapport thermique spécifique γ de chaque masse de gaz enfermée prédéfinie $m_1, \dots, m_n$ en mettant en œuvre les étapes suivantes :

(1) On détermine la composition de ladite masse enfermée ;

(2) On détermine une relation qui relie ledit rapport thermique spécifique γ et la capacité du gaz c_p dans ladite chambre de combustion :

$$\gamma = \frac{c_p}{c_p - R} \quad \text{avec } R \text{ la constante du gaz, et la}$$

capacité du gaz c_p étant fonction de la température dudit gaz et de ladite composition de ladite masse enfermée ;

(3) On détermine la température dudit gaz au moyen de la loi des gaz parfaits appliquée à chaque masse enfermée prédéfinie $m_1, \dots, m_n$; et

(4) On en déduit ledit rapport thermique spécifique γ pour chaque masse enfermée prédéfinie $m_1, \dots, m_n$.

7. Procédé de détermination de la masse de gaz enfermée selon l'une des revendications précédentes, dans lequel on détermine une longueur d'onde λ pour chaque mode d'oscillations de ladite pression dudit gaz.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der in einem Brennraum (2) einer Brennkraftmaschine eingeschlossenen Gasmasse, bei dem die folgenden Schritte durchgeführt werden:

- a) Messen des Drucks P (MES P) des Gases in dem Brennraum (2);
 b) Bestimmen der Schwingungen des Gasdrucks P (OSC P) ausgehend von der Messung des Drucks P des Gases;
 c) Bestimmen der eingeschlossenen Gasmasse

m mithilfe der Formel $m = \frac{\gamma PV}{\lambda^2 f^2}$ und durch

Bestimmen der Druckschwingungsfrequenz f (DET f) mit den gemessenen Schwingungen, wobei V das Volumen des Brennraums ist, λ die Wellenlänge in dem Brennraum (2) ist, P der gemessene Druck des Gases in dem Brennraum ist und γ das spezifische thermische Verhältnis ist; Bestimmen der Druckschwingungsfrequenz f (DET f), indem die folgenden Kalibrierungsschritte durchgeführt werden:

i) Betrachten von mindestens zwei vordefinierten eingeschlossenen Gasmassen $m_1, \dots, m_n$;

ii) Bestimmen eines spezifischen thermischen Verhältnisses γ für jede vordefinierte eingeschlossene Gasmasse $m_1, \dots, m_n$;

iii) Bestimmen einer Druckschwingungsfre-

quenz f mithilfe der Formel $m = \frac{\gamma PV}{\lambda^2 f^2}$ für

jede vordefinierte eingeschlossene Gasmasse $m_1, \dots, m_n$ in Abhängigkeit von dem gemessenen Gasdruck P , dem Volumen V des Brennraums, der Wellenlänge λ und dem bestimmten spezifischen thermischen Verhältnis γ ; und

iv) Vergleichen (COMP) jeder bestimmten Druckschwingungsfrequenz f mit den gemessenen Druckschwingungen (OSC) und Bestimmen der eingeschlossenen Gasmasse m als die vordefinierte Masse, für welche die Druckschwingungsfrequenz f den Vergleich minimiert,

wobei die Wellenlänge λ mithilfe eines Kennfelds in Abhängigkeit von dem Kurbelwinkel der Brennkraftmaschine erhalten wird, wobei das Kennfeld vorab numerisch durch einen dreidimensionalen Finite-Elemente-Ansatz erstellt wird.

2. Verfahren zur Bestimmung der eingeschlossenen Gasmasse nach Anspruch 1, wobei das Volumen V des Brennraums (2) mithilfe eines Kennfelds in Abhängigkeit von dem Kurbelwinkel der Brennkraftmaschine erhalten wird.

3. Verfahren zur Bestimmung der eingeschlossenen Gasmasse nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Kennfeld zum Erhalten der Wellenlänge λ vorab numerisch durch einen dreidimensionalen Finite-Elemente-Ansatz erstellt wird, dessen Inputs sind: - die Geometrie des Brennraums bei jedem Kurbelwinkel; - die zu lösende Wellengleichung $P = \frac{1}{c^2} \frac{\delta^2 P}{\delta t^2}$ mit der fixen Schallgeschwindigkeit c , - die Randbedingungen $\nabla P \cdot n = 0$, wobei n

der Normalvektor an der Zylinderwand ist, - die Ausgangsbedingungen: ein lokalisierter Druckgradient, der zum Initialisieren der Berechnung verwendet wird.

4. Verfahren zur Bestimmung der eingeschlossenen Gasmasse nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das spezifische thermische Verhältnis γ unter Berücksichtigung der Zusammensetzung der eingeschlossenen Masse und mithilfe der thermischen Kapazität der Bestandteile der eingeschlossenen Masse bestimmt wird.

5. Verfahren zur Bestimmung der eingeschlossenen Gasmasse nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die eingeschlossene Gasmasse in Echtzeit bestimmt wird.

6. Verfahren zur Bestimmung der eingeschlossenen Gasmasse nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei jedes spezifische thermische Verhältnis γ jeder vordefinierten eingeschlossenen Gasmasse $m_1, \dots, m_n$ bestimmt wird, indem die folgenden Schritte durchgeführt werden:

(1) Bestimmen der Zusammensetzung der eingeschlossenen Masse;

(2) Bestimmen einer Beziehung, die das spezifische thermische Verhältnis γ und die Kapazität des Gases c_p in dem Brennraum verknüpft:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_p - R}, \text{ wobei } R \text{ die Konstante des Gases ist und wobei die Kapazität des Gases } c_p$$

eine Funktion der Temperatur des Gases und der Zusammensetzung der eingeschlossenen Masse ist;

(3) Bestimmen der Temperatur des Gases mithilfe des Gesetzes idealer Gase, das auf jede vordefinierte eingeschlossene Masse $m_1, \dots, m_n$ angewendet wird; und

(4) Ableiten des spezifischen thermischen Verhältnisses γ für jede vordefinierte eingeschlossene Masse $m_1, \dots, m_n$ daraus.

7. Verfahren zur Bestimmung der eingeschlossenen Gasmasse nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei für jede Schwingungsmoden des Drucks des Gases eine Wellenlänge λ bestimmt wird.

Claims

1. Method for determining the enclosed mass of gas in a combustion chamber (2) of an internal-combustion engine, wherein the following steps are carried out:

a) the pressure P of said gas in said combustion

chamber (2) is measured (MES P);

b) the oscillations of said gas pressure P are determined (OSC P) from said pressure measurement P of said gas;

c) said enclosed mass m of gas is determined

using the formula $m = \frac{\gamma PV}{\lambda^2 f^2}$ and by determining (DET f) the frequency f of pressure oscillations using said measured oscillations, V

being the volume of said combustion chamber, λ the wavelength in said combustion chamber (2), P said measured pressure of said gas in said combustion chamber, and γ the specific heat ratio, the frequency f of pressure oscillations is determined (DET f) by implementing the following calibration steps:

i) at least two predefined enclosed masses $m_1, \dots, m_n$ of gas are considered;

ii) a specific heat ratio γ is determined for each predefined enclosed mass $m_1, \dots, m_n$ of gas;

iii) said formula $m = \frac{\gamma PV}{\lambda^2 f^2}$ is used to

determine a frequency f of pressure oscillations for each predefined enclosed mass $m_1, \dots, m_n$ of gas as a function of said measured gas pressure P, said volume V of the combustion chamber, said wavelength λ and said determined specific heat ratio γ ; and

iv) each determined frequency f of pressure oscillations is compared (COMP) with said measured pressure oscillations (OSC), and said enclosed mass m of gas is determined as the predefined mass for which the pressure oscillation frequency f minimizes said comparison,

said wavelength λ being obtained from a map based on the crankshaft angle of said internal-combustion engine, said map being constructed numerically in advance using a three-dimensional finite element approach.

2. Method for determining the enclosed mass of gas according to Claim 1, wherein said volume V of said combustion chamber (2) is obtained from a map based on the crankshaft angle of said internal-combustion engine.

3. Method for determining the enclosed mass of gas according to one of the preceding claims, wherein said map for obtaining said wavelength λ is constructed numerically in advance using a three-dimensional finite element approach with the following inputs: - the geometry of the combustion chamber at

each crankshaft angle, - the wave equation to be

solved $P = \frac{1}{c^2} \frac{\delta^2 P}{\delta t^2}$ with a fixed speed of sound c , -

the boundary conditions $\nabla P \cdot n = 0$, n being the vector normal to the cylinder wall, - the initial conditions: a localized pressure gradient used to initialize the calculation.

5

4. Method for determining the enclosed mass of gas according to one of the preceding claims, wherein said specific heat ratio γ is determined by taking into account the composition of said enclosed mass, and by means of the thermal capacity of the components of said enclosed mass.

10

15

5. Method for determining the enclosed mass of gas according to one of the preceding claims, wherein said enclosed mass of gas is determined in real time.

6. Method for determining the enclosed mass of gas according to one of the preceding claims, wherein each specific heat ratio γ of each predefined enclosed mass $m_1, \dots, m_n$ of gas is determined by implementing the following steps:

20

25

(1) the composition of said enclosed mass is determined;

(2) a relationship linking said specific heat ratio γ and the capacity c_p of the gas in said combustion

30

chamber is determined: $\gamma = \frac{c_p}{c_p - R}$ where R

is the gas constant, and the capacity c_p of the gas being a function of the temperature of said gas and of said composition of said enclosed mass;

35

(3) the temperature of said gas is determined by means of the ideal gas law applied to each predefined enclosed mass $m_1, \dots, m_n$; and

(4) said specific heat ratio γ for each predefined enclosed mass $m_1, \dots, m_n$ is deduced therefrom.

40

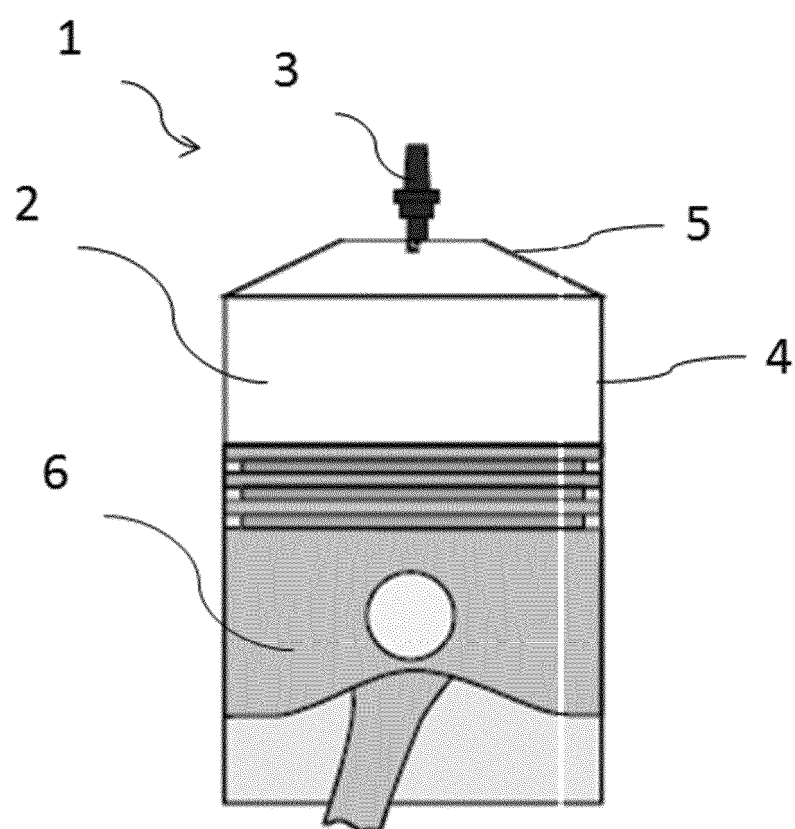
7. Method for determining the enclosed mass of gas according to one of the preceding claims, wherein a wavelength λ is determined for each oscillation mode of said pressure of said gas.

45

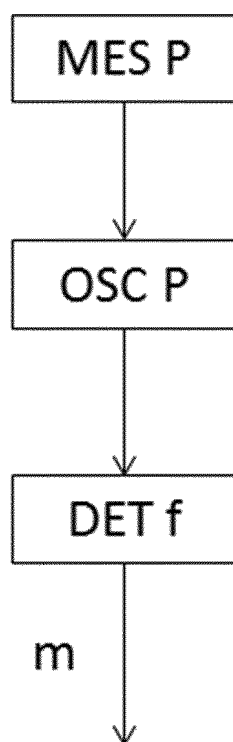
50

55

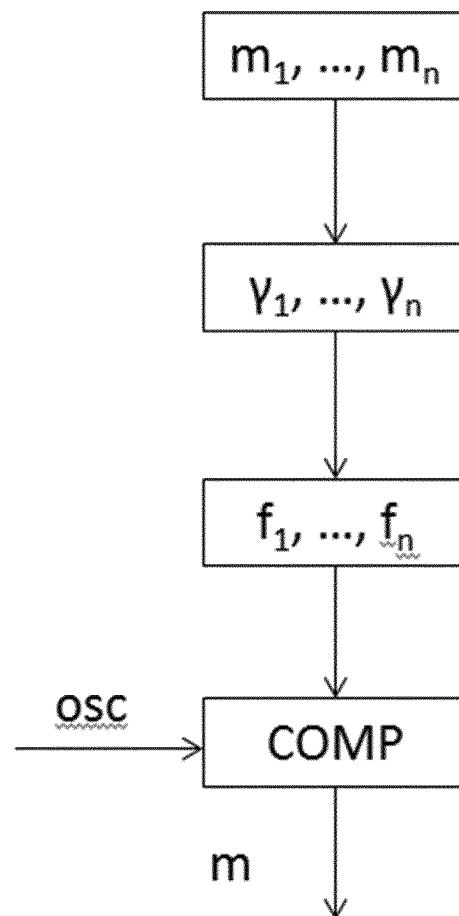
[Fig 1]



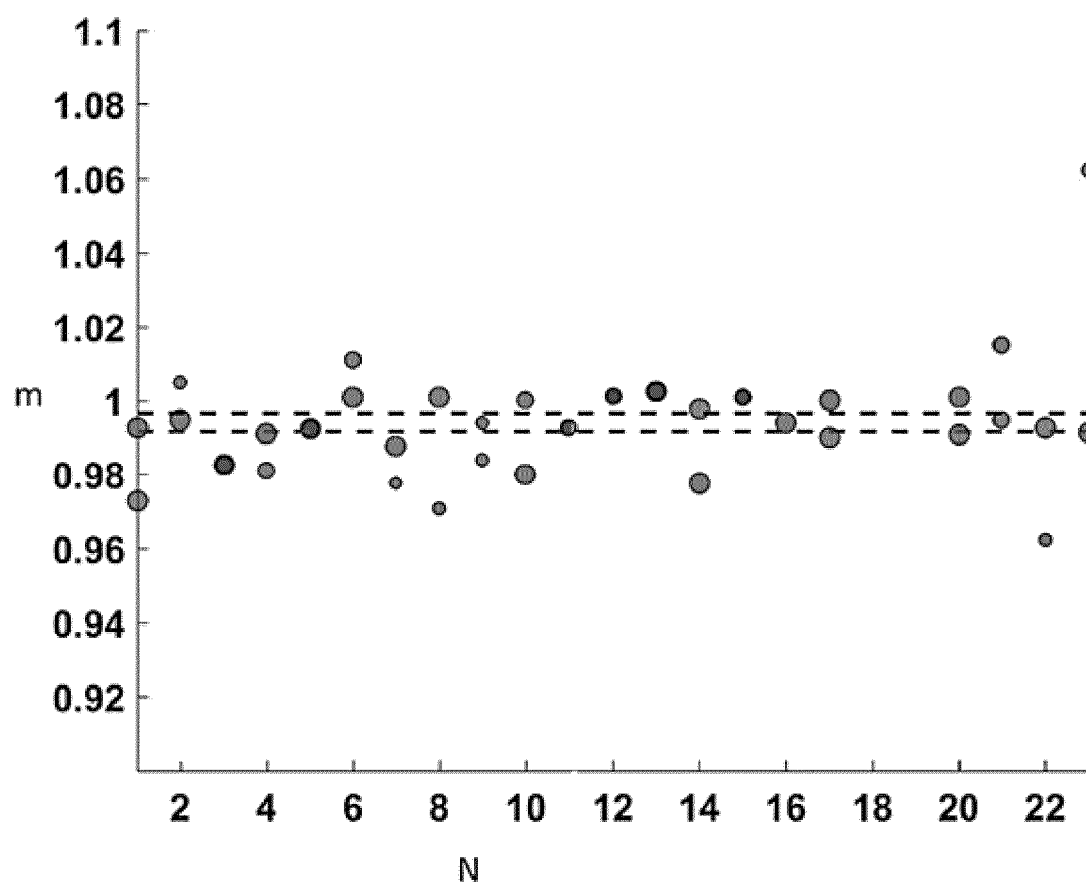
[Fig 2]



[Fig 3]



[Fig 4]



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

- WO 2007060349 A [0005]
- WO 2015082731 A [0006]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **PAU BARES.** *In-cylinder pressure resonance analysis for trapped mass estimation in automotive engines*, 30 June 2017 [0006]