

(19)



(11)

**EP 4 112 898 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

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

**14.08.2024 Bulletin 2024/33**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):

**F01N 3/20** <sup>(2006.01)</sup>      **F01N 3/035** <sup>(2006.01)</sup>  
**F01N 3/10** <sup>(2006.01)</sup>      **F01N 3/28** <sup>(2006.01)</sup>  
**F01N 9/00** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Numéro de dépôt: **22182011.1**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):

**F01N 3/2066; F01N 3/035; F01N 3/103;**  
**F01N 3/2892; F01N 9/00; F01N 2240/20;**  
**F01N 2560/06; F01N 2560/14; F01N 2900/0416;**  
**F01N 2900/12; F01N 2900/1404**

(22) Date de dépôt: **29.06.2022**

(54) **PROCEDE DE CORRECTION D'UNE VALEUR DE TEMPERATURE MESUREE PAR UN CAPTEUR DE TEMPERATURE**

VERFAHREN ZUR KORREKTUR EINES TEMPERATURWERTES, DER VON EINEM TEMPERATURSENSOR GEMESSEN WIRD

METHOD FOR CORRECTING A TEMPERATURE VALUE MEASURED BY A TEMPERATURE SENSOR

(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**

• **SMIS-MICHEL, VIVIEN**  
**78084 GUYANCOURT (FR)**

(30) Priorité: **30.06.2021 FR 2107044**

(74) Mandataire: **Renault Group**  
**Renault s.a.s.**  
**1 avenue du Golf**  
**FR TCR AVA 055**  
**78084 Guyancourt Cedex (FR)**

(43) Date de publication de la demande:  
**04.01.2023 Bulletin 2023/01**

(73) Titulaire: **NEW H POWERTRAIN HOLDING, S.L.U.**  
**47008 Valladolid (ES)**

(56) Documents cités:  
**DE-A1- 102016 101 862 US-A- 5 879 082**  
**US-A1- 2018 266 299**

(72) Inventeurs:

• **DASSE, BENJAMIN**  
**78084 GUYANCOURT (FR)**

**EP 4 112 898 B1**

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).

## Description

### DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

- 5 [0001] La présente invention concerne de manière générale la mesure de la température dans des conduites de gaz.  
[0002] Elle concerne plus particulièrement un procédé de correction d'une valeur de température mesurée par un capteur de température situé dans une conduite de gaz dans laquelle se propage un fluide gazeux.  
[0003] L'invention trouve une application particulièrement avantageuse dans la maîtrise de la dépollution et de la sécurité de véhicules automobiles.
- 10 [0004] Elle concerne également un moteur à combustion interne équipé d'une unité de calcul configurée pour corriger une valeur de température mesurée par un capteur de température du moteur à combustion interne.

### ETAT DE LA TECHNIQUE

- 15 [0005] Il est important de connaître la température des gaz circulant dans une conduite de gaz.  
[0006] A titre d'exemple, pour maîtriser la dépollution et la sécurité des véhicules automobiles à moteurs thermiques, il est nécessaire de connaître le plus précisément possible l'ensemble des températures le long de la ligne d'échappement des moteurs, pour les raisons suivantes.  
[0007] Une ligne d'échappement comprend généralement un ensemble de dispositifs de dépollution des gaz de combustion du moteur. Dans le cas d'un moteur à allumage par compression (Diesel), cet ensemble comprend généralement 20 un catalyseur d'oxydation, suivi de l'association, par exemple dans une même enveloppe métallique, d'un catalyseur de réduction sélective des oxydes d'azote (dit catalyseur SCR) et d'un filtre à particules, l'association étant désignée par le sigle SCRf. Le catalyseur SCR fonctionne de manière continue en réduisant en molécules inoffensives les oxydes d'azote entrants. Pour cela, un composé réducteur à base d'urée est injecté à la sortie du catalyseur d'oxydation. Un 25 mélangeur positionné en amont du catalyseur SCR mélange le composé réducteur avec les gaz d'échappement.  
[0008] De son côté, le filtre à particules se remplit progressivement des suies produites par le moteur et doit régulièrement subir des régénérations, qui consistent à élever la température des gaz d'échappement pour brûler ces suies. La mesure de la température du filtre à particules du pot SCRf sert à réguler la température interne du filtre à particules lors de sa régénération. Cela permet d'optimiser la quantité de suies brûlées, mais aussi d'éviter que la température du 30 pot SCRf dépasse un seuil de température mettant en danger la tenue thermomécanique du filtre à particules.  
[0009] Par ailleurs, du fait de la dépendance à la température de l'efficacité de traitement par le catalyseur SCR des oxydes d'azote, la détermination de la température en amont du pot SCRf peut être également utilisée pour réguler la quantité de composé réducteur injectée afin d'optimiser le traitement des oxydes d'azote dans le catalyseur SCR.  
[0010] C'est pourquoi une pluralité de capteurs de température est positionnée le long de la ligne d'échappement des 35 véhicules automobiles thermiques. En pratique, des contraintes géométriques de positionnement de ces capteurs peuvent être rencontrées, par exemple lorsque l'espace dédié aux capteurs est réduit. L'emplacement des capteurs, mais aussi leur géométrie peuvent être impactés, comme par exemple en éloignant les capteurs du secteur de mesure qui serait le plus adapté, ou en réduisant leur zone détectrice. Ces changements résultent en une diminution de la précision de mesure des capteurs, impactant notamment leur réponse temporelle. Le document US2018266299 propose un 40 système de capteur de température des gaz d'échappement à auto-corrrection.

### PRESENTATION DE L'INVENTION

- 45 [0011] La présente invention propose d'améliorer la précision de mesure de capteurs de température soumis aux contraintes précédemment citées.  
[0012] L'invention prévoit ainsi un procédé de correction d'une valeur de température initiale mesurée par un capteur de température principal situé dans une conduite de gaz dans laquelle circule un gaz, le procédé comprenant les étapes suivantes :
- 50 - mesure d'une valeur de température amont par un capteur de température amont situé en amont par rapport audit capteur de température principal le long de la conduite de gaz,  
- calcul d'une valeur corrigée de la valeur de température initiale en fonction de la valeur de température initiale et de la valeur de température amont.
- 55 [0013] L'invention présente l'avantage de ne pas faire appel à une solution matérielle qui consisterait à imposer des conditions sur le positionnement du capteur de température principal, ou à installer un capteur plus performant. Elle consiste au contraire à se satisfaire des données mesurées par un capteur, quand bien même ces données ne seraient pas aussi précises que souhaité, et à les corriger ensuite. La solution proposée par l'invention est ainsi peu coûteuse

et facile à intégrer.

**[0014]** Par ailleurs l'invention permet d'effectuer un large éventail de mesures, par exemple en régime stabilisé ou en régime à fort gradient thermique.

**[0015]** D'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives du procédé conforme à l'invention, prises individuellement ou selon toutes les combinaisons techniquement possibles, sont les suivantes :

- la valeur corrigée est en outre calculée en fonction du débit massique du gaz circulant dans la conduite de gaz ;
- il est prévu une étape de détermination d'une valeur de température de l'environnement autour de la conduite de gaz, et la valeur corrigée est en outre calculée en fonction de la valeur de température de l'environnement et du temps écoulé à partir d'un instant t de la mesure de la valeur de température amont ;
- la valeur de température de l'environnement autour de la conduite de gaz est calculée en fonction de la valeur de température amont ;
- la valeur corrigée est calculée par :

$$T_s = T_{out} + A * D * (T_{in} - T_{out}) + B * (T_{env} - T_{out}) * \Delta t,$$

dans lequel A et B sont respectivement un premier coefficient de calibration et un second coefficient de calibration,  $T_{out}$  est la température initiale,  $T_{in}$  est la valeur de la température amont,  $T_{env}$  est la valeur de température de l'environnement autour de la conduite de gaz,  $\Delta t$  est le temps écoulé à partir dudit instant t de la mesure de la valeur de température amont et D est le débit massique du gaz circulant dans la conduite de gaz ;

- le premier coefficient de calibration et le second coefficient de calibration sont des valeurs constantes ;
- il est prévu une étape d'acquisition d'au moins un paramètre de fonctionnement du moteur à combustion interne et une étape de calcul du premier coefficient de calibration et/ou du second coefficient de calibration en fonction de chaque paramètre de fonctionnement acquis ;
- la conduite de gaz appartient à une ligne d'échappement d'un moteur à combustion interne ;
- le capteur de température principal est positionné en amont d'un filtre à particules sur le circuit d'échappement du moteur à combustion interne et le capteur de température amont est positionné en amont d'un mélangeur, ledit mélangeur étant positionné entre le capteur de température principal et le capteur de température amont.

**[0016]** L'invention prévoit également un moteur à combustion interne comportant un circuit d'échappement de gaz brûlés qui comporte au moins une conduite de gaz, un capteur de température principal et un capteur de température amont situé en amont par rapport audit capteur de température principal équipé d'une unité de calcul adaptée à mettre en oeuvre le procédé de correction mentionné précédemment.

**[0017]** Bien entendu, les différentes caractéristiques, variantes et formes de réalisation de l'invention peuvent être associées les unes avec les autres selon diverses combinaisons dans la mesure où elles ne sont pas incompatibles ou exclusives les unes des autres.

#### DESCRIPTION DETAILLÉE DE L'INVENTION

**[0018]** La description qui va suivre en regard des dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs, fera bien comprendre en quoi consiste l'invention et comment elle peut être réalisée.

**[0019]** Sur les dessins annexés :

[Fig. 1] est une vue schématique d'un moteur à combustion interne selon l'invention ;

[Fig. 2] est une vue de détail de la zone II de la figure 1 à un premier instant ;

[Fig. 3] est une vue de détail de la zone II de la figure 1 à un deuxième instant ;

[Fig. 4] est une vue homologue aux vues des figures 2 et 3 ;

[Fig. 5] est un schéma bloc illustrant le calcul d'une valeur de température selon un procédé de correction conforme à l'invention ;

[Fig. 6] présente des résultats obtenus avec le procédé de correction conforme à l'invention.

#### Dispositif

**[0020]** Dans la description, les termes « amont » et « aval » seront utilisés suivant le sens de l'écoulement des gaz, depuis le point de prélèvement de l'air frais dans l'atmosphère jusqu'à la sortie des gaz brûlés dans l'atmosphère.

**[0021]** Sur la figure 1, on a représenté schématiquement un moteur à combustion interne 1 de véhicule automobile, qui comprend un bloc-moteur 10 pourvu d'un vilebrequin et de quatre pistons (non représentés) logés dans quatre

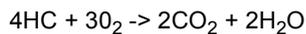
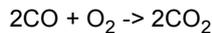
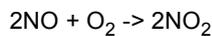
cylindres 11. Ce moteur est ici à allumage par compression (Diesel). Il pourrait également être à allumage commandé (Essence).

**[0022]** En amont des cylindres 11, le moteur à combustion interne 1 comporte une ligne d'admission 20 qui prélève l'air frais dans l'atmosphère et qui débouche dans un répartiteur d'air 25 agencé pour répartir l'air frais vers chacun des quatre cylindres 11 du bloc-moteur 10. Cette ligne d'admission 20 comporte, dans le sens d'écoulement de l'air frais, un filtre à air 21 qui filtre l'air frais prélevé dans l'atmosphère, un compresseur 22 qui comprime l'air frais filtré par le filtre à air 21, un refroidisseur d'air principal 23 qui refroidit cet air frais comprimé, et une vanne d'admission 24 qui permet de réguler le débit d'air frais débouchant dans le répartiteur d'air 25.

**[0023]** En sortie des cylindres 11, le moteur à combustion interne 1 comporte une ligne d'échappement 30 qui s'étend depuis un collecteur d'échappement 31 dans lequel débouchent les gaz qui ont été préalablement brûlés dans les cylindres 11, jusqu'à un silencieux d'échappement (non représenté) permettant de détendre les gaz brûlés avant qu'ils ne soient évacués dans l'atmosphère. Elle comporte par ailleurs, dans le sens d'écoulement des gaz brûlés, une turbine 32, et deux pots catalytiques 33, 37 de traitement des gaz brûlés.

**[0024]** La turbine 32 est entraînée en rotation par le flux de gaz brûlés sortant du collecteur d'échappement 31, et elle permet d'entraîner le compresseur 22 en rotation, grâce à des moyens de couplage mécanique tels qu'un arbre de transmission.

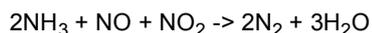
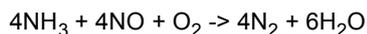
**[0025]** Le premier pot catalytique 33 comporte un catalyseur d'oxydation prévu pour oxyder les hydrocarbures imbrûlés contenus dans les gaz brûlés, ainsi que le monoxyde de carbone et le monoxyde d'azote. On y observe les réactions suivantes :



**[0026]** Le second pot catalytique 37, dit aussi SCRf, comporte un catalyseur de réduction sélective des oxydes d'azote 35, dit aussi catalyseur SCR 35 (pour « Sélective Catalytic Réduction ») et un filtre à particules 39. Dans cet exemple, le catalyseur SCR 35 et le filtre à particules 39 sont situés dans une même enveloppe métallique.

**[0027]** Le filtre à particules 39 est prévu pour capter les particules solides de suie en suspension dans les gaz brûlés.

**[0028]** Le catalyseur SCR 35 est prévu pour accélérer la réduction des oxydes d'azote. On y observe les réactions suivantes :



**[0029]** Le second pot catalytique SCRf 37 est associé à des moyens d'injection 70 d'un agent réducteur dans la ligne d'échappement 30 et à des moyens d'homogénéisation 36 de cet agent réducteur avec les gaz brûlés avant qu'ils n'entrent dans le catalyseur SCR 35.

**[0030]** Les moyens d'injection 70 comportent ici un réservoir 71 de solution aqueuse, une pompe d'injection 72 (non représentée) agencée pour prélever la solution aqueuse dans le réservoir 71 afin de l'amener sous pression vers un injecteur 73 qui débouche dans le conduit de liaison 31 qui fait communiquer les deux pots catalytiques 33, 37.

**[0031]** Les moyens d'homogénéisation 36 (appelés également mélangeur) peuvent par exemple quant à eux se présenter sous la forme d'une simple hélice logée dans ce conduit de liaison, en aval de l'injecteur 73, et qui permet de rendre l'écoulement de gaz brûlés turbulent pour favoriser l'homogénéisation de la solution aqueuse avec ces gaz brûlés.

**[0032]** La solution aqueuse est ici un précurseur d'ammoniac, et plus précisément une solution d'urée et d'eau, à 32,5% en masse d'ammoniac, nommée Adblue®. Bien entendu, elle pourrait être formée par tout autre agent réducteur adapté à réduire les oxydes d'azote.

**[0033]** Le SCRf 37 est associé à un capteur de pression différentielle 34 à ses bornes, qui permet de connaître l'état du chargement en suies du filtre à particules 39. La connaissance de l'état du chargement en suies permet de déclencher des régénérations par combustion des suies lorsque le chargement atteint un seuil.

**[0034]** Les régénérations sont des phases de nettoyage du filtre à particules 39 par combustion des suies piégées à l'intérieur de ce dernier, afin de conserver son efficacité pour la filtration (c'est-à-dire : le stockage) des particules. Les régénérations nécessitent une température très élevée (entre 550 et 650 degrés Celsius) et sont généralement déclenchées par un calculateur 100 du moteur, décrit plus loin.

**[0035]** Sur la ligne d'échappement et entre le premier pot catalytique 33 et l'injecteur 73 se situe un capteur de température amont  $C_{in}$ , mesurant une température notée  $T_{in}$ .

**[0036]** Le SCRf 37 comporte à son entrée un autre capteur de température, appelé capteur de température principal  $C_{out}$ , mesurant une température notée  $T_{out}$ . Plus précisément le capteur de température principal  $C_{out}$  se situe sur la ligne d'échappement 30 entre les moyens d'homogénéisation 36 et le SCRf 37. Pour des raisons d'intégration, le capteur de température principal  $C_{out}$  présente une forme qui n'est pas optimale pour sa précision de mesure.

**[0037]** Ici, le moteur à combustion interne 1 comporte également une ligne de recirculation des gaz brûlés à haute pression depuis la ligne d'échappement 30 vers la ligne d'admission 20. Cette ligne de recirculation est communément appelée ligne EGR-HP 40, conformément à l'acronyme anglo-saxon de « Exhaust Gaz Recirculation - High Pressure ». Elle prend naissance dans la ligne d'échappement 30, entre le collecteur d'échappement 31 et la turbine 32, et elle débouche dans la ligne d'admission 20, entre la vanne d'admission 24 et le répartiteur d'air 25. Cette ligne EGR-HP 40 permet de prélever une partie des gaz brûlés circulant dans la ligne d'échappement 30 pour la réinjecter dans les cylindres 11 afin de réduire les émissions polluantes du moteur, et en particulier les émissions d'oxydes d'azote. Cette ligne EGR-HP 40 comporte un refroidisseur secondaire pour refroidir les gaz EGR-HP, suivi d'une vanne EGR-HP 41 pour réguler le débit de gaz EGR-HP débouchant dans le répartiteur d'air 25.

**[0038]** Le moteur à combustion interne 1 comporte aussi une ligne de recirculation des gaz brûlés à basse pression depuis la ligne d'échappement 30 vers la ligne d'admission 20. Cette ligne de recirculation est communément appelée ligne EGR-LP 50, conformément à l'acronyme anglo-saxon de « Exhaust Gaz Recirculation - Low Pressure ». Elle prend naissance dans la ligne d'échappement 30, à la sortie du SCRf 37, comporte un filtre 61 et un refroidisseur 62, et débouche dans la ligne d'admission 20, entre le filtre à air 21 et le compresseur 22. Cette ligne EGR-LP 50 permet de prélever une partie des gaz brûlés circulant dans la ligne d'échappement 30, appelés gaz EGR-LP, pour la réinjecter dans les cylindres 11 afin également de réduire les émissions polluantes du moteur. Elle comporte une vanne de régulation du débit de gaz EGR-LP, appelée vanne EGR-LP 51.

**[0039]** Le moteur à combustion interne 1 peut également comporter plusieurs capteurs de température, afin de mesurer la température en différents points de celui-ci.

**[0040]** Pour piloter les différents organes du moteur à combustion interne 1, il est prévu un calculateur (non représenté) comportant un processeur et une mémoire, et différentes interfaces d'entrée et de sortie.

**[0041]** Grâce à ses interfaces d'entrée, le calculateur 100 est adapté à recevoir de différents capteurs des signaux d'entrée relatifs au fonctionnement du moteur.

**[0042]** Dans sa mémoire vive, le calculateur 100 mémorise notamment en continu :

- la différence de pression DP entre la sortie et l'entrée du SCRf 37,
- la température  $T_{out}$  mesurée par le capteur de température principal  $C_{out}$ ,
- la température  $T_{in}$  mesurée par le capteur de température amont  $C_{in}$ .

#### Procédé

**[0043]** Pour maîtriser la dépollution et la sécurité du véhicule, il est nécessaire de connaître le plus précisément possible l'ensemble des températures de la ligne d'échappement 30.

**[0044]** Comme expliqué supra, la température  $T_{out}$  à l'entrée du SCRf 37 mesurée par le capteur de température principal  $C_{out}$  sert à réguler la température interne du filtre à particules 39 autour d'une consigne lors des phases de régénération.

**[0045]** Par ailleurs, comme également indiqué plus haut, la connaissance de la température à l'entrée du SCRf 37 permet de réguler l'injection de solution d'Adblue dans le catalyseur SCR 35 afin d'optimiser l'efficacité de traitement des oxydes d'azote par le catalyseur SCR 35.

**[0046]** L'agencement du capteur de température principal  $C_{out}$  peut dépendre de contraintes de conception du moteur à combustion interne 1. Par exemple, en cas d'espace réduit, le capteur de température principal  $C_{out}$  peut être déporté et éloigné du SCRf 37. Alternativement, si le capteur de température principal  $C_{out}$  est une sonde, la partie sensible, plus précisément son aiguille, peut être raccourcie du fait de contraintes d'encombrement.

**[0047]** De telles modifications impactent la réponse temporelle du capteur de température principal  $C_{out}$  et par conséquent la précision de la température  $T_{out}$  mesurée par ce dernier. Notamment, lors des phases de régénération du filtre à particules 39, le filtre à particules 39 subit des gradients thermiques qu'il est important de pouvoir mesurer avec précision et rapidement pour assurer sa protection.

**[0048]** Afin de prendre en compte l'impact de l'agencement spatial dans le moteur à combustion interne 1 du capteur de température principal  $C_{out}$  sur sa précision, l'invention propose un procédé de correction de la température  $T_{out}$  mesurée par ce dernier, utilisant la température  $T_{in}$  mesurée par le capteur de température amont  $C_{in}$ . La température après correction est notée  $T_s$ . Il est supposé que la température  $T_{in}$  mesurée par le capteur de température amont  $C_{in}$  est mesurée avec une précision suffisante.

**[0049]** Le procédé de correction utilise une modélisation dynamique de la température à l'entrée du SCRf 37 résultant d'un bilan thermodynamique d'un système thermodynamique fermé Sc illustré à la figure 2.

**[0050]** Le système thermodynamique fermé Sc correspond à une quantité de gaz d'échappement se déplaçant à l'intérieur de la ligne d'échappement.

5 **[0051]** Plus précisément, en référence à la figure 2, à un instant t, la quantité de gaz d'échappement occupe le volume V(t) compris entre la sortie du premier pot catalytique 33, où se situe le capteur de température amont C<sub>in</sub>, et la sortie des moyens d'homogénéisation 36. Le volume V(t) est représenté sur la figure 2 par l'union des volumes V1, V2 et V3, où

- 10 - V1 est le volume compris entre la sortie du premier port catalytique 33 et l'entrée des moyens d'homogénéisation 36,
- V2 est le volume compris dans les moyens d'homogénéisation 36, et
- V3 est le volume compris entre la sortie des moyens d'homogénéisation 36 et l'entrée du filtre à particules 39.

15 **[0052]** On considère sur la figure 3 un instant ultérieur t+Δt, Δt représentant une durée temporelle, auquel les molécules de gaz d'échappement qui se trouvaient à la sortie du premier pot catalytique 33 à l'instant t atteignent la sortie des moyens d'homogénéisation 36. A cet instant ultérieur t+Δt, les molécules de gaz d'échappement qui se trouvaient à l'entrée du filtre à particules 39 atteignent un point F situé à l'intérieur du filtre à particules 39. A l'instant ultérieur t+Δt, comme illustré à la figure 2, la quantité de gaz d'échappement précitée occupe le volume V(t+ Δt) résultant de l'union des volumes V3 et V4, où V4 représente un volume remplissant une partie du filtre à particules 39, depuis l'entrée du filtre à particules 39 jusqu'au point F.

20 **[0053]** On définit ainsi, en référence à la figure 4 : un sous-système ouvert S occupant le volume V3 entre la sortie des moyens d'homogénéisation 36 et l'entrée du filtre à particules 39 ; un sous-système d'entrée Sin, occupant, l'union des volumes V1 et V2; et un sous-système de sortie Sout occupant le volume V4.

25 **[0054]** Le sous-système d'entrée Sin constitue une masse Δm<sub>in</sub> arrivant dans le sous-système S pendant la durée temporelle Δt. Le sous-système de sortie Sout constitue une masse Δm<sub>out</sub> quittant le sous-système ouvert S pendant la durée temporelle Δt.

**[0055]** Le système Sc est composé de la réunion du système S+Sin à l'instant t et du système S+Sout à l'instant ultérieur t+ Δt.

30 **[0056]** Puis, selon l'invention, on réalise une étude du bilan thermodynamique du système Sc afin d'obtenir une modélisation de la différence entre la température corrigée T<sub>s</sub> recherchée et la température T<sub>out</sub> mesurée par le capteur de température principal C<sub>out</sub>.

**[0057]** L'application du premier principe de la thermodynamique au système fermé Sc s'écrit :

35 [Math 1 ]

$$U_c(t + \Delta t) - U_c(t) = U_s(t + \Delta t) + \Delta m_{out} e_{mout} + U_{out} - U_s(t) - \Delta m_{in} e_{min} - U_{in}$$

[Math 2]

40 
$$U_c(t + \Delta t) - U_c(t) = \Delta W + \Delta Q$$

où U<sub>c</sub> désigne l'énergie interne du système Sc,

U<sub>s</sub> désigne l'énergie interne du système S,

45 Δm<sub>out</sub> et Δm<sub>in</sub> désignent les masses de gaz d'échappement respectivement sortant du système S à l'instant ultérieur t+Δt et entrant dans le système S à l'instant t,

e<sub>mout</sub> et e<sub>min</sub> désignent les densités énergétiques mécaniques par gaz kg,

ΔW désigne le travail du gaz d'échappement pendant la durée temporelle Δt,

ΔQ désigne le transfert de chaleur pendant la durée temporelle Δt.

50 
$$\dot{x} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

**[0058]** En utilisant la méthode d'écriture différentielle, où pour une variable x, , il apparaît que :

55 [Math 3]

$$\dot{U}_s = \dot{m}_{in} e_{min} + \dot{U}_{in} - \dot{m}_{out} e_{mout} - \dot{U}_{out} + \dot{W} + \dot{Q}$$

## EP 4 112 898 B1

**[0059]** Le travail  $W$  peut s'écrire comme la somme du travail mécanique  $W_u$  et du travail des forces de pression  $W_p$  :

5 [Math 4]

$$W = W_u + W_p = W_u + P_{in}V_{in} - P_{out}V_{out}$$

10 **[0060]** En utilisant la définition de l'enthalpie  $H_{in}$  du fluide entrant dans le système Sc et de l'enthalpie  $H_{out}$  du fluide sortant du système Sc, à savoir  $H_{in}=U_{in}+P_{in}V_{in}$  et  $H_{out}=U_{out}+P_{out}V_{out}$ , ainsi que les enthalpies massiques correspondantes  $h_{in}=H_{in}/M_{in}$  et  $h_{out}=H_{out}/m_{out}$ , il résulte que :

15 [Math 5]

$$\dot{U}_s = \dot{m}_{in}(e_{min} + h_{min}) - \dot{m}_{out}(e_{mout} - h_{mout}) + \dot{W} + \dot{Q}$$

20 **[0061]** En utilisant la valeur de la capacité thermique massique des gaz d'échappement à pression constante  $c_p$  en J/K/kg, la valeur de la capacité thermique massique des gaz d'échappement à volume constant  $c_v$  en J/K/kg, la relation entre l'enthalpie massique  $h$ ,  $c_p$  et la température  $T$   $h=c_pT$ , la masse du sous-système S  $m_s$ , on peut écrire :

[Math 6]

25 
$$\dot{U}_s = m_s c_v \dot{T}_s + \dot{m}_s c_v T_s$$

et

30 [Math 7]

$$m_s c_v \dot{T}_s + \dot{m}_s c_v T_s = \dot{m}_{in}(e_{min} + c_p T_{in}) - \dot{m}_{out}(e_{mout} - c_p T_{out}) + \dot{W}_u + \dot{Q}$$

35 **[0062]** La dernière équation peut être simplifiée en effectuant les hypothèses suivantes :

- le débit massique des gaz d'échappement dans la ligne d'échappement, et donc à l'entrée du sous-système S  $\dot{m}_{in}$  et en sortie du sous-système S  $\dot{m}_{out}$  est constant ;
- 40 - la masse du sous-système S se conserve, c'est-à-dire que  $\dot{m}_s$  est égal à zéro ;
- le travail mécanique des gaz d'échappement est nul, c'est-à-dire que  $\dot{W}_u$  est égal à zéro ;
- le transfert de chaleur est modélisé uniquement par des pertes de conduction thermique, et aucune perte par convection n'est considérée, en faisant l'hypothèse que du fait que la ligne d'échappement du moteur est logée sous le capot du véhicule, elle est à l'abri de la circulation d'air extérieur :

45

[Math 8]

50 
$$\dot{Q} = \frac{T_s - T_{env}}{R_{th}}$$

où  $R_{th}$  désigne la résistance thermique du système et  $T_{env}$  désigne la température de l'environnement sous capot autour de la ligne de d'échappement, plus précisément entre les moyens d'homogénéisation et le filtre à particules ;

- 55 - l'énergie mécanique du système Sc est constante, c'est-à-dire que  $e_{min}$  et  $e_{mout}$  sont nulles.

**[0063]** Il résulte ainsi que :

[Math 8]

$$\dot{T}_s = \frac{m_{in}c_p(T_{in}-T_{out}) + \frac{T_{env}-T_s}{R}}{m_s c_v}$$

**[0064]** En revenant à une écriture discrétisée, l'équation précédente s'écrit :

[Math 9]

$$\frac{T_s(t) - T_s(t-\Delta t)}{\Delta t} = \frac{m_{in}c_p(T_{in}-T_{out}) + \frac{T_{env}-T_s(t-\Delta t)}{R}}{m_s c_v}$$

**[0065]** On approxime la valeur de la température  $T_s$  à l'instant  $t-\Delta t$  par la température mesurée par le capteur principal  $T_{out}$ . Ainsi la différence  $T_s - T_{out}$  recherchée s'écrit :

[Math 10]

$$T_s - T_{out} = \Delta T_{corr} = \frac{m_{in}c_p(T_{in}-T_{out}) + \frac{T_{env}-T_{out}}{R}}{m_s c_v}$$

**[0066]** Ainsi, le procédé de correction de la température initiale mesurée par le capteur de température principal consiste à corriger la température initiale  $T_{out}$  par :

$$T_s = T_{out} + \Delta T_{corr} = T_{out} + A \cdot D \cdot (T_{in} - T_{out}) + B \cdot (T_{env} - T_{out}) \cdot \Delta t,$$

où A et B sont respectivement un premier coefficient de calibration et un deuxième coefficient de calibration, et D est le débit massique des gaz d'échappement dans la ligne d'échappement 30.

**[0067]** Ainsi, la modélisation utilisée permet de déterminer  $T_s$  au moyen d'un calcul simple, faisant intervenir différents paramètres relatifs au fonctionnement du véhicule ( $T_{out}$ ,  $T_{in}$ , D, ...) et des paramètres de réglage (les coefficients de calibration A et B). Cela permet au calculateur 100 d'effectuer la correction de la température  $T_{out}$  mesurée par le capteur de température principal  $C_{out}$ , à partir de la formule précédente.

**[0068]** Les valeurs nécessaires à ce calcul sont déterminées de la manière suivante, lors d'essais préalables à la mise en circulation du véhicule.

**[0069]** Les températures  $T_{in}$  et  $T_{out}$  sont mesurées respectivement par le capteur de température amont  $C_{in}$  et le capteur de température principal  $C_{out}$  et sont mémorisées dans la mémoire vive du calculateur 100.

**[0070]** Le débit massique D des gaz d'échappement est lié au régime R du moteur. Le débit massique D peut être mesuré par un débitmètre (non représenté) prévu sur la ligne d'échappement 30.

**[0071]** La température  $T_{env}$  peut être mesurée par un capteur de température environnante implanté sous le capot du véhicule.

**[0072]** En variante et de manière préférentielle, la température environnante  $T_{env}$  peut être estimée en appliquant un filtre du premier ordre à la température mesurée par le capteur de température amont. En effet, le conduit métallique dans lequel circulent les gaz d'échappement présente une inertie thermique plus élevée que celle des gaz d'échappement. Ainsi, l'influence du conduit métallique sur la température des gaz peut être modélisée par un filtre du premier ordre F.

**[0073]** Le premier coefficient de calibration A et le deuxième coefficient de calibration B sont déterminés lors d'essais de roulage dans différentes conditions, afin de couvrir une plage étendue de valeurs de température  $T_{in}$  et de valeurs de débit massique D.

**[0074]** L'objectif de ces essais de roulage est de relever des données expérimentales permettant de déterminer les valeurs du premier coefficient de calibration A et du deuxième coefficient de calibration B par minimisation de l'écart entre la température  $T_s$  calculée et une température de référence  $T_{ref}$  effectivement mesurée par un thermocouple installé, le temps de la période des essais de roulage, dans un piquage percé, lors de la mise au point du moteur, sur

la conduite située entre les moyens d'homogénéisation 36 et le SCRf 37. Cette température de référence  $T_{ref}$  est supposée représentée parfaitement la température à l'entrée du SCRf 37 et donc du filtre à particules 39. L'optimisation utilise les données expérimentales et tout module d'optimisation de logiciels de calcul connus.

**[0075]** Par exemple, une série d'essais de roulage en mélange riche, c'est-à-dire lorsque la quantité de carburant est en excès par rapport à la quantité d'oxygène, permet de rendre prépondérant le terme comportant le premier coefficient de calibration A et de déterminer celui-ci.

**[0076]** Par exemple encore, une série de tests de roulage en mode dit « stop and start », c'est-à-dire, où le moteur thermique est mis en veille lorsque le véhicule est immobilisé et est redémarré automatiquement, permet de rendre prépondérant le terme comportant le deuxième coefficient de calibration B et de déterminer celui-ci.

**[0077]** D'autres séries d'essais permettent d'augmenter la quantité de données expérimentales servant à la détermination des valeurs A et B, par exemple des essais de roulage en mélange pauvre, ou encore des essais de roulage en phase de régénération du filtre à particules.

**[0078]** Dans un mode de réalisation, les valeurs A et B sont des constantes, issues par exemple d'une opération de moyennage des valeurs obtenues pendant la période des essais.

**[0079]** Dans un autre mode de réalisation, les valeurs A et B dépendent de paramètres de fonctionnement du moteur à combustion interne 1, tels que son régime ou sa charge. Dans ce mode de réalisation, au moins un paramètre de fonctionnement du moteur à combustion interne 1 est acquis. Puis, le premier coefficient de calibration A et/ou du second coefficient de calibration B sont calculés en fonction de chaque paramètre de fonctionnement acquis.

**[0080]** La figure 5 représente un schéma bloc illustrant l'implémentation par le calculateur 100 du procédé de correction selon l'invention, une fois le premier coefficient de calibration A et le deuxième coefficient de calibration B déterminés par la série d'essais de roulage.

**[0081]** Le calculateur 100 implémente deux blocs multiplicatifs S1 et S2, calculant respectivement les produits  $A * D * (T_{in} - T_{out})$  et  $B * (T_{env} - T_{out})$ , avec la température  $T_{env}$  calculée par filtrage de la température  $T_{in}$ .

**[0082]** Le calculateur 100 implémente ensuite un bloc additif S3, calculant la somme du résultat du bloc S1 et du résultat du bloc S2 multiplié par un multiple d'un incrément temporel  $\Delta t = i * \Delta t_i$ , où l'incrément temporel  $\Delta t_i$  a pour valeur typique 100 ms.

**[0083]** Le calculateur 100 implémente ensuite un bloc additif S4, calculant la somme de la température  $T_{out}$  mesurée par le capteur de température principal  $C_{out}$  et du résultat du bloc S3, afin de retourner la valeur corrigée  $T_s$ .

**[0084]** La figure 6 montre le résultat de la correction obtenue de la température  $T_{out}$  mesurée par le capteur de température principal  $C_{out}$  par le procédé de correction selon l'invention. La courbe C1 représente l'évolution de la température corrigée  $T_s$ . La courbe C2 représente l'évolution de la température de référence  $T_{ref}$ . La courbe C3 représente la température  $T_{in}$ . La courbe C4 représente la température mesurée  $T_{out}$  (avant correction). On peut dans un premier temps observer l'écart entre la température  $T_{out}$  et la température de référence  $T_{ref}$ . Aussi, on observe la proximité de la température corrigée  $T_s$ , c'est-à-dire la courbe C1, avec la température de référence  $T_{ref}$ , c'est-à-dire la courbe C2. Ainsi, le procédé de correction conforme à l'invention permet de diminuer l'écart entre la température  $T_{out}$  et la température de référence  $T_{ref}$  et d'obtenir une température corrigée  $T_s$  plus proche de la température de référence  $T_{ref}$ .

### Variantes

**[0085]** La présente invention n'est nullement limitée aux modes de réalisation décrits et représentés, mais l'homme du métier saura y apporter toute variante conforme à l'invention.

**[0086]** Par exemple, le procédé de correction selon l'invention peut s'appliquer à la correction de la mesure d'un capteur de température primaire situé le long d'une conduite de gaz, dont on souhaite améliorer la précision, par exemple parce que ce capteur de température primaire est mal positionné ou que sa partie sensible est mal arrosée par le flux de gaz. Il est requis, pour la mise en oeuvre du procédé de correction, la connaissance de la mesure d'un capteur de température situé en amont du capteur de température primaire, dont la précision est suffisante pour l'application recherchée.

### **Revendications**

1. Procédé de correction d'une valeur de température initiale ( $T_{out}$ ) mesurée par un capteur de température principal ( $C_{out}$ ) situé dans une conduite de gaz (31) dans laquelle circule un gaz, **caractérisé en ce que** le procédé comprend les étapes suivantes :

- mesure d'une valeur de température amont ( $T_{in}$ ) par un capteur de température amont ( $C_{in}$ ) situé en amont par rapport audit capteur de température principal ( $C_{out}$ ) le long de la conduite de gaz (31),
- calcul d'une valeur corrigée ( $T_s$ ) de la valeur de température initiale ( $T_{out}$ ) en fonction de la valeur de température

initiale ( $T_{out}$ ) et de la valeur de température amont ( $T_{in}$ ).

2. Procédé de correction selon la revendication 1, dans lequel ladite valeur corrigée ( $T_s$ ) est en outre calculée en fonction du débit massique (D) du gaz circulant dans la conduite de gaz (31).
3. Procédé de correction selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel il est prévu une étape de détermination d'une valeur de température ( $T_{env}$ ) de l'environnement autour de la conduite de gaz (31), et dans lequel ladite valeur corrigée ( $T_s$ ) est en outre calculée en fonction de la valeur de température ( $T_{env}$ ) de l'environnement et du temps écoulé ( $\Delta t$ ) à partir d'un instant (t) de la mesure de la valeur de température amont ( $T_{in}$ ).
4. Procédé de correction selon la revendication 3, dans lequel la valeur de température ( $T_{env}$ ) de l'environnement autour de la conduite de gaz est calculée en fonction de la valeur de température amont ( $T_{in}$ ).
5. Procédé de correction selon la revendication 2 et la revendication 3 ou 4, dans lequel la valeur corrigée ( $T_s$ ) est calculée au moyen de l'équation :

$$T_s = T_{out} + A * D * (T_{in} - T_{out}) + B * (T_{env} - T_{out}) * \Delta t,$$

dans lequel A et B sont respectivement un premier coefficient de calibration et un second coefficient de calibration,  $T_s$  est la valeur corrigée,  $T_{out}$  est la valeur de la température initiale,  $T_{in}$  est la valeur de température amont,  $T_{env}$  est la valeur de température de l'environnement autour de la conduite de gaz (31), et  $\Delta t$  est le temps écoulé à partir dudit instant (t) de la mesure de la valeur de température amont ( $T_{in}$ ).

6. Procédé de correction selon la revendication 5, dans lequel le premier coefficient de calibration A et le second coefficient B de calibration sont des valeurs constantes.
7. Procédé de correction selon la revendication 5, dans lequel il est prévu une étape d'acquisition d'au moins un paramètre de fonctionnement du moteur à combustion interne et une étape de calcul du premier coefficient de calibration A et/ou du second coefficient de calibration B en fonction de chaque paramètre de fonctionnement acquis.
8. Procédé de correction selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel la conduite de gaz (31) appartient à une ligne d'échappement d'un moteur à combustion interne (1).
9. Procédé de correction selon la revendication 8, dans lequel le capteur de température principal ( $C_{out}$ ) est positionné en amont d'un filtre à particules (39) sur la ligne d'échappement du moteur à combustion interne (1) et le capteur de température amont ( $C_{in}$ ) est positionné en amont d'un mélangeur (36), ledit mélangeur (36) étant positionné entre le capteur de température principal ( $C_{out}$ ) et le capteur de température amont ( $C_{in}$ ).
10. Moteur à combustion interne (1) comportant un circuit d'échappement de gaz brûlés qui comporte au moins une conduite de gaz (31), un capteur de température principal ( $C_{out}$ ) et un capteur de température amont ( $C_{in}$ ) situé en amont par rapport audit capteur de température principal ( $C_{out}$ ), **caractérisé en ce qu'il** comprend une unité de calcul adaptée à mettre en oeuvre un procédé de correction conforme à l'une quelconque des revendications précédentes.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Korrektur eines Anfangstemperaturwerts ( $T_{out}$ ) gemessen von einem Haupttemperaturfühler ( $C_{out}$ ), der sich in einer Gasleitung (31) befindet, in der ein Gas strömt, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren die folgenden Schritte enthält:
  - Messung eines stromaufwärtigen Temperaturwerts ( $T_{in}$ ) durch einen stromaufwärtigen Temperaturfühler ( $C_{in}$ ), der sich bezüglich des Haupttemperaturfühlers ( $C_{out}$ ) entlang der Gasleitung (31) stromaufwärts befindet,
  - Berechnung eines korrigierten Werts ( $T_g$ ) des Anfangstemperaturwerts ( $T_{out}$ ) abhängig vom Anfangstemperaturwert ( $T_{out}$ ) und vom stromaufwärtigen Temperaturwert ( $T_{in}$ ).
2. Korrekturverfahren nach Anspruch 1, wobei der korrigierte Wert ( $T_s$ ) außerdem abhängig vom Massenstrom (D)

des in der Gasleitung (31) strömenden Gases berechnet wird.

3. Korrekturverfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei ein Schritt der Bestimmung eines Temperaturwerts ( $T_{env}$ ) der Umgebung um die Gasleitung (31) herum vorgesehen ist, und wobei der korrigierte Wert ( $T_s$ ) außerdem abhängig vom Temperaturwert ( $T_{env}$ ) der Umgebung und von der ausgehend von einem Zeitpunkt (t) der Messung des stromaufwärtigen Temperaturwerts ( $T_{in}$ ) vergangenen Zeit ( $\Delta t$ ) berechnet wird.
4. Korrekturverfahren nach Anspruch 3, wobei der Temperaturwert ( $T_{env}$ ) der Umgebung um die Gasleitung herum abhängig vom stromaufwärtigen Temperaturwert ( $T_{in}$ ) berechnet wird.
5. Korrekturverfahren nach Anspruch 2 und Anspruch 3 oder 4, wobei der korrigierte Wert ( $T_s$ ) mittels der Gleichung berechnet wird:

$$T_s = T_{out} + A * D * (T_{in} - T_{out}) + B * (T_{env} - T_{out}) * \Delta t,$$

wobei A und B ein erster Kalibrierungskoeffizient bzw. ein zweiter Kalibrierungskoeffizient sind,  $T_s$  der korrigierte Wert ist,  $T_{out}$  der Wert der Anfangstemperatur ist,  $T_{in}$  der stromaufwärtige Temperaturwert ist,  $T_{env}$  der Temperaturwert der Umgebung um die Gasleitung (31) herum ist, und  $\Delta t$  die ausgehend vom Zeitpunkt (t) der Messung des stromaufwärtigen Temperaturwerts ( $T_{in}$ ) vergangene Zeit ist.

6. Korrekturverfahren nach Anspruch 5, wobei der erste Kalibrierungskoeffizient A und der zweite Kalibrierungskoeffizient B konstante Werte sind.
7. Korrekturverfahren nach Anspruch 5, wobei ein Schritt der Erfassung mindestens eines Betriebsparameters des Verbrennungsmotors und ein Schritt der Berechnung des ersten Kalibrierungskoeffizienten A und/oder des zweiten Kalibrierungskoeffizienten B abhängig von jedem erfassten Betriebsparameter vorgesehen sind.
8. Korrekturverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Gasleitung (31) zu einer Auspuffanlage eines Verbrennungsmotors (1) gehört.
9. Korrekturverfahren nach Anspruch 8, wobei der Haupttemperaturfühler ( $C_{out}$ ) stromaufwärts vor einem Partikelfilter (39) auf der Auspuffanlage des Verbrennungsmotors (1) positioniert ist, und der stromaufwärtige Temperaturfühler ( $C_{in}$ ) stromaufwärts vor einem Mischer (36) positioniert ist, wobei der Mischer (36) zwischen dem Haupttemperaturfühler ( $C_{out}$ ) und dem stromaufwärtigen Temperaturfühler ( $C_{in}$ ) positioniert ist.
10. Verbrennungsmotor (1), der einen Abgasauslasskreislauf aufweist, der mindestens eine Gasleitung (31), einen Haupttemperaturfühler ( $C_{out}$ ) und einen stromaufwärtigen Temperaturfühler ( $C_{in}$ ) aufweist, der sich bezüglich des Haupttemperaturfühlers ( $C_{out}$ ) stromaufwärts befindet, **dadurch gekennzeichnet, dass** er eine Recheneinheit enthält, die geeignet ist, ein Korrekturverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen.

## Claims

1. Method for correcting an initial temperature value ( $T_{out}$ ) measured by a main temperature sensor ( $C_{out}$ ) located in a gas line (31) in which a gas flows, **characterized in that** the method comprises the following steps:
  - measuring an upstream temperature value ( $T_{in}$ ) using an upstream temperature sensor ( $C_{in}$ ) located upstream of said main temperature sensor ( $C_{out}$ ) along the gas line (31),
  - calculating a corrected value ( $T_s$ ) of the initial temperature value ( $T_{out}$ ) as a function of the initial temperature value ( $T_{out}$ ) and of the upstream temperature value ( $T_{in}$ ).
2. Correction method according to Claim 1, in which said corrected value ( $T_s$ ) is also calculated as a function of the mass flow rate (D) of the gas flowing in the gas line (31).
3. Correction method according to either one of Claims 1 and 2, in which a step of determining a temperature value ( $T_{env}$ ) of the environment about the gas line (31) is provided,

and in which said corrected value ( $T_s$ ) is also calculated as a function of the temperature value ( $T_{env}$ ) of the environment and of the elapsed time ( $\Delta t$ ) from an instant ( $t$ ) of the measurement of the upstream temperature value ( $T_{in}$ ).

- 5
4. Correction method according to Claim 3, in which the temperature value ( $T_{env}$ ) of the environment about the gas line is calculated as a function of the upstream temperature value ( $T_{in}$ ).
5. Correction method according to Claim 2 and Claim 3 or 4, in which the corrected value ( $T_s$ ) is calculated using the following equation:

10

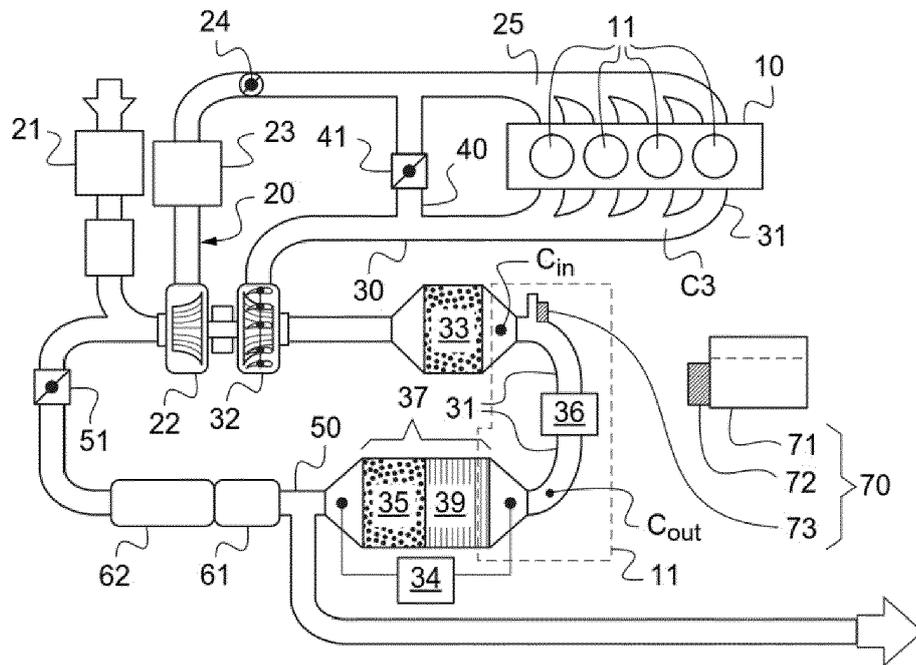
$$T_s = T_{out} + A * D * (T_{in} - T_{out}) + B * (T_{env} - T_{out}) * \Delta t,$$

15

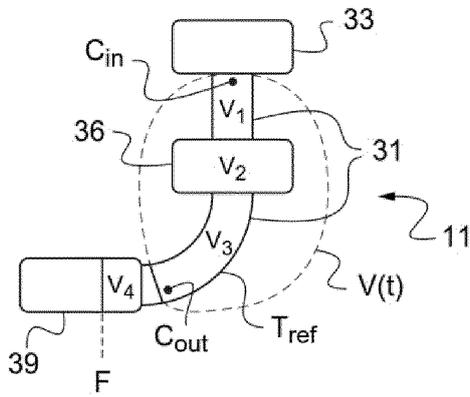
in which A and B are respectively a first coefficient of calibration and a second coefficient of calibration,  $T_s$  is the corrected value,  $T_{out}$  is the initial temperature value,  $T_{in}$  is the upstream temperature value,  $T_{env}$  is the temperature value of the environment about the gas line (31), and  $\Delta t$  is the elapsed time from said instant ( $t$ ) of the measurement of the upstream temperature value ( $T_{in}$ ).

- 20
6. Correction method according to Claim 5, in which the first coefficient A of calibration and the second coefficient B of calibration are constant values.
7. Correction method according to Claim 5, in which a step of acquiring at least one operating parameter of the internal-combustion engine and a step of calculating the first coefficient A of calibration and/or the second coefficient B of calibration as a function of each acquired operating parameter are provided.
- 25
8. Correction method according to one of Claims 1 to 7, in which the gas line (31) belongs to an exhaust line of an internal-combustion engine (1).
9. Correction method according to Claim 8, in which the main temperature sensor ( $C_{out}$ ) is positioned upstream of a particle filter (39) on the exhaust line of the internal-combustion engine (1) and the upstream temperature sensor ( $C_{in}$ ) is positioned upstream of a mixer (36), said mixer (36) being positioned between the main temperature sensor ( $C_{out}$ ) and the upstream temperature sensor ( $C_{in}$ ).
- 30
10. Internal-combustion engine (1) including an exhaust circuit for combusted gases that includes at least a gas line (31), a main temperature sensor ( $C_{out}$ ) and an upstream temperature sensor ( $C_{in}$ ) located upstream of said main temperature sensor ( $C_{out}$ ), **characterized in that** it comprises a computation unit designed to implement a correction method according to any one of the preceding claims.
- 35

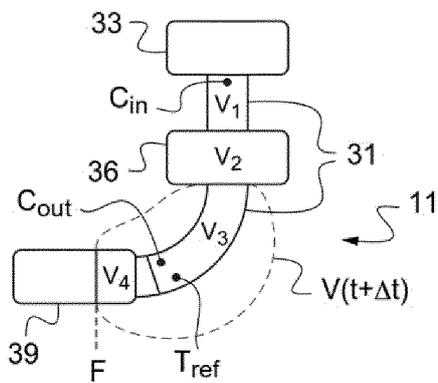
[Fig. 1]



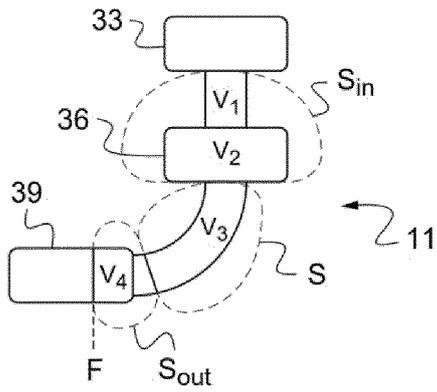
[Fig. 2]



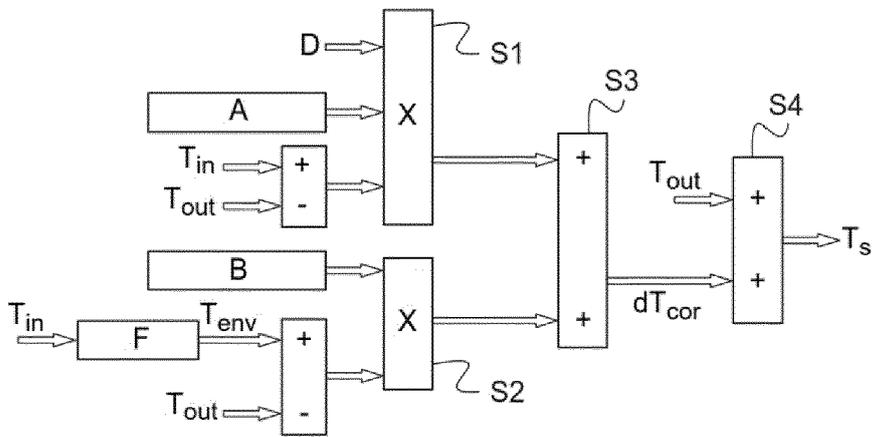
[Fig. 3]



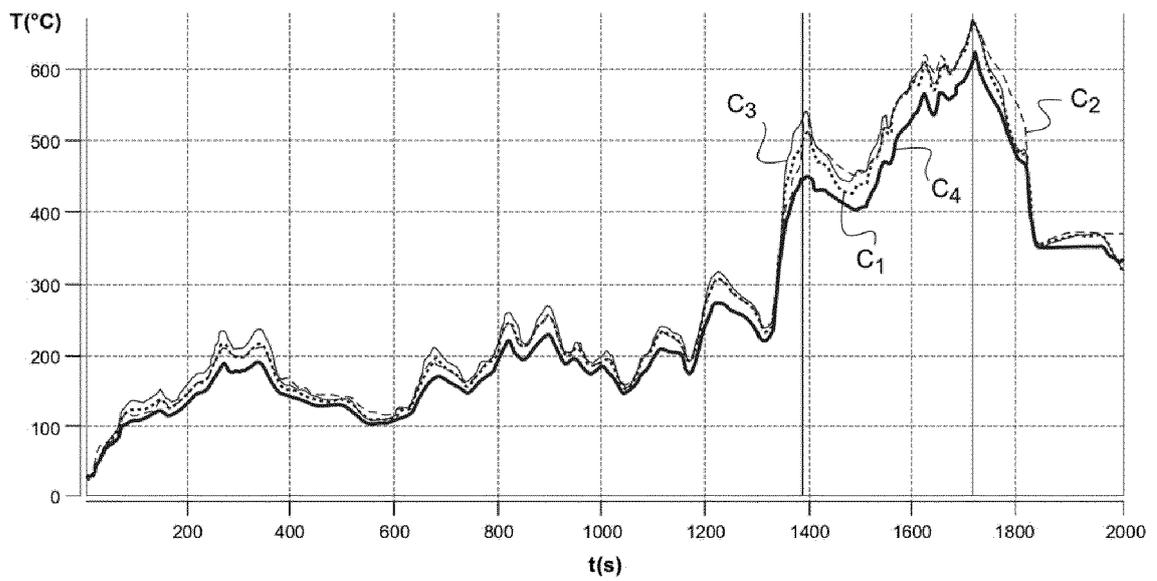
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



**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**

- US 2018266299 A [0010]