

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2009/115682 A2

(43) Date de la publication internationale
24 septembre 2009 (24.09.2009)

- (51) Classification internationale des brevets :
G01N 21/35 (2006.01) G01M 15/00 (2006.01)
G01N 21/53 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2009/000176
- (22) Date de dépôt international :
17 février 2009 (17.02.2009)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
0800981 21 février 2008 (21.02.2008) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : IFP
[FR/FR]; 1-4, avenue de Bois Préau, F-92852 Rueil
Malmaison Cedex (FR).
- (72) Inventeur; et
- (75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : LEPAGE,
Thierry [FR/FR]; 15, rue du Bas de la Butte, F-78810
Feucherolles (FR).
- (74) Mandataire : ELMALEH, Alfred; IFP, 1 et 4, avenue
de Bois Préau, F-92852 Rueil Malmaison Cedex (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).
- Publiée :
— sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport (règle 48.2.g)

(54) Title : METHOD AND DEVICE FOR MEASURING THE OPACITY LEVEL OF EXHAUST GASES FROM A DIESEL ENGINE

(54) Titre : PROCEDE ET DISPOSITIF DE MESURE DU NIVEAU D'OPACITE DE GAZ D'ECHAPPEMENT EMIS PAR UN MOTEUR DIESEL

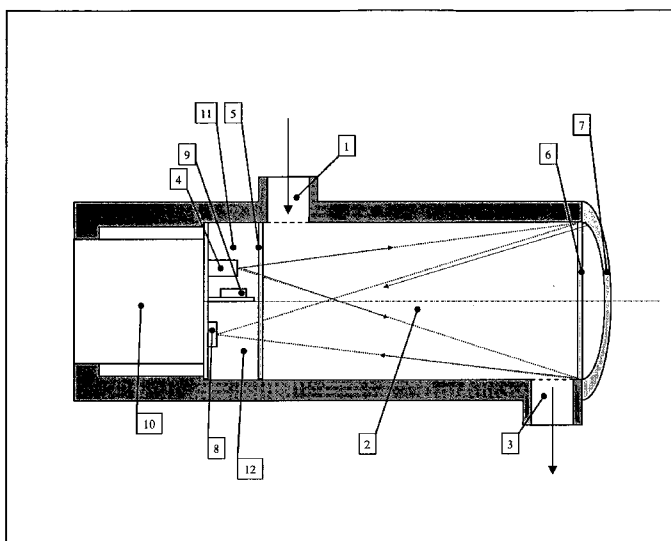


Fig. 1

(57) Abstract : The invention relates to a method and a device for measuring the opacity level of exhaust gases from a diesel engine, wherein the method comprises using an opacimeter for collecting the exhaust gases, emitting a light beam through the collected gases, and acquiring a signal relative to the light intensity of the light beams that passed through the gases. The method further comprises extracting from the signal a first light intensity measurement during an engine acceleration phase, and extracting from the signal a second light intensity measurement during an engine idle phase. The two measurements are sufficiently close in time to provide equivalent measurement conditions. Finally, the method comprises deriving, from said measures and by a relative opacity calculation, the opacity level of the gases by calculating the gas absorption coefficient during the acceleration phase.

(57) Abrégé : Au moyen d'un opacimètre, on collecte les gaz d'échappement, on émet un faisceau de lumière à travers les gaz collectés, et on acquiert
[Suite sur la page suivante]



un signal relatif à l'intensité lumineuse des faisceaux lumineux ayant traversés les gaz. Puis, on extrait du signal une première mesure d'intensité lumineuse au cours d'une phase d'accélération du moteur, on extrait du signal une seconde mesure d'intensité lumineuse au cours d'une phase de ralenti du moteur. Les deux mesures sont suffisamment proches dans le temps pour assurer des conditions de mesure équivalentes. Enfin, à partir de ces mesures et par un calcul d'opacité relative, on déduit le niveau d'opacité des gaz en calculant le coefficient d'absorption des gaz lors de la phase d'accélération.

5

PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE MESURE DU NIVEAU D'OPACITÉ DE GAZ D'ÉCHAPPEMENT EMIS PAR UN MOTEUR DIESEL

10

La présente invention concerne le domaine du contrôle du niveau de pollution d'un moteur à combustion, notamment des moteurs diesel.

Plus particulièrement, l'invention concerne un procédé et un dispositif pour mesurer le niveau d'opacité des gaz d'échappement émis par les moteurs diesel, l'opacité constituant un critère connu du niveau de pollution de ce type de moteur.

État de la technique

Il est connu de réaliser ces mesures du niveau de pollution à partir d'un opacimètre à flux partiel en accélération libre, c'est-à-dire que le moteur est soumis à des accélérations sans charge (boîte de vitesse au point mort), et qu'une partie des gaz d'échappement est analysée.

En France, par exemple, les automobiles sont régulièrement contrôlées dans des centres techniques où elles subissent différents tests, dont un test de pollution. Pour faire ce test, les centres de contrôle technique utilisent des opacimètres respectant la norme NF R 10-025-2 :1996. Un tel opacimètre est décrit par exemple dans la demande de brevet FR 2 703 460.

La procédure de contrôle est définie par la norme NF-R-10-025-3. L'opacité des gaz d'échappement est mesurée par leur coefficient d'absorption, selon la loi de Beer Lambert. Selon cette loi, l'intensité lumineuse décroît exponentiellement dans un milieu homogène ainsi :

30

$$I = I_0 * e(-k * L)$$

avec :

I = intensité lumineuse reçue par une cellule photoélectrique de mesure

I_0 = intensité lumineuse initiale émise par une ampoule de l'opacimètre

k = coefficient d'absorption du milieu (les gaz d'échappement)

5 L = longueur de la chambre de mesure

De l'équation précédente, on obtient k (exprimé en m^{-1}) :

$$k = \frac{-Ln(I / I_0)}{L}$$

10 A partir de ce coefficient d'absorption, on peut définir le niveau de pollution du moteur étudié, en utilisant, par exemple, la décision d'acceptation du paragraphe 7.3 de la norme NF-R 10-025-3 : 1996. Celle-ci ne doit pas excéder la valeur spécifiée par le constructeur lorsqu'elle existe, ou à défaut les valeurs suivantes :

- 2.5 m^{-1} dans le cas des moteurs diesel à aspiration naturelle ;
 - 3.0 m^{-1} dans le cas des moteurs diesel turbocompressés ;
 - 1.5 m^{-1} pour tous les véhicules immatriculés ou mis en circulation à compter du 1^{er} juillet 2008.
- 15

L'application de la loi de Beer Lambert à la mesure d'opacité des gaz d'échappement des moteurs diesel suppose que, d'une part que l'intensité lumineuse initiale émise par la source (I_0) soit stable tout au long de la mesure, et d'autre part, que la dégradation de l'état de la chambre de mesure n'altère pas la transmission de cette lumière. Plusieurs phénomènes remettent en cause ces impératifs :

20

- L'évolution de la température : les rendements des sources lumineuses est souvent tributaire de la température. C'est notamment le cas pour les diodes qu'utilisent certains opacimètres.
 - L'encrassement de la cellule provoqué par le dépôt de suie : pendant la mesure, des suies peuvent se déposer sur les éléments optiques, ce qui provoque un affaiblissement parasite du faisceau lumineux.
 - La vapeur d'eau contenue dans les gaz d'échappement peut condenser sur des surfaces si celles-ci ne sont pas maintenues à une température suffisante, et altérer le faisceau optique si ces surfaces sont des composants optiques (plaque de verre).
- 25

Pour pallier ces perturbations, il est connu (norme NF R 10-025-1 : 1996) :

- de maintenir une température dans la cellule de mesure de l'ordre de 70 °C afin d'éviter la condensation des vapeurs d'eau ;

- d'établir des flux d'air pour faire en sorte que les suies ne se déposent pas sur les éléments de mesure.

Ces techniques nécessitent l'utilisation d'un opacimètre complexe, volumineux et cher.

L'invention concerne un procédé alternatif pour mesurer le niveau d'opacité des gaz d'échappement des moteurs diesel, de façon fiable, en tenant compte des impératifs précédemment cités, à partir d'un opacimètre simple et ayant un faible coût.

L'invention concerne également un tel opacimètre.

Le dispositif et le procédé selon l'invention

Un objet de l'invention concerne un dispositif pour mesurer un niveau d'opacité de gaz d'échappement produit par un moteur diesel. Le dispositif comporte : - une chambre de circulation de gaz s'étendant sur une longueur déterminée et comprenant à une première extrémité un orifice d'entrée de gaz, à une seconde extrémité un orifice de sortie de gaz ; - des moyens d'émissions de faisceaux lumineux à travers la chambre de circulation placés à une extrémité de la chambre de circulation ; - des moyens pour capter et transformer des faisceaux lumineux émis et traversant la chambre de circulation, en un signal électrique proportionnel à l'intensité lumineuse captée ; - une unité électronique de traitement comprenant un module de pilotage des moyens d'émissions et un module de traitement du signal électrique issu des moyens capteurs. Le module de traitement du signal comporte :

- des moyens pour extraire du signal une première mesure d'intensité lumineuse au cours d'une phase d'accélération du moteur, et une seconde mesure d'intensité lumineuse au cours d'une phase de ralenti du moteur, ces moyens sont conçus de façon à pouvoir extraire ces deux mesures sur un intervalle de temps suffisamment réduit pour assurer des conditions de mesure équivalentes ; et

- des moyens de calcul d'un coefficient d'absorption lumineuse des gaz en phase d'accélération à partir des mesures extraites, pour définir le niveau d'opacité des gaz.

5 Les moyens d'émissions de faisceaux lumineux et les moyens capteurs peuvent être placés à une même extrémité de la chambre de circulation, un miroir concave placé à l'autre extrémité assurant une réflexion des faisceaux lumineux vers les moyens capteurs. Selon cette configuration, les moyens d'émissions de faisceaux lumineux peuvent être avantageusement placés dans une chambre d'émission, et les moyens capteurs placés dans une chambre de mesure, de façon à ce qu'aucun faisceau lumineux émis n'atteigne directement la chambre de
10 mesure sans avoir traversé la chambre de circulation.

Selon l'invention, la chambre d'émission peut également comporter une photodiode positionnée de façon à capter des faisceaux lumineux émis directement par les moyens d'émissions et des faisceaux lumineux réfléchis par une paroi transparente séparant la chambre de circulation des moyens d'émissions, afin de détecter une condensation de vapeur
15 d'eau au sein de la chambre de circulation.

Le dispositif peut également comporter :

- des moyens de chauffage de la chambre de circulation, afin de limiter une condensation des gaz au sein de la chambre de circulation.
- des moyens pour mesurer la température au sein du dispositif.
- 20 - des moyens pour compenser des dérives liées au courant d'obscurité des moyens capteurs.

Enfin, selon l'invention, l'unité électronique de traitement du dispositif peut être conçue de façon à commander une source de courant constant, de façon à piloter les moyens d'émission pour qu'il génèrent un pulse de courant d'une durée choisie à intervalle de temps régulier.

25 Un autre objet de l'invention concerne un procédé pour mesurer un niveau d'opacité de gaz d'échappement émis par un moteur diesel, dans lequel on collecte les gaz d'échappement, on émet un faisceau de lumière à travers les gaz collectés, et on acquiert un signal relatif à l'intensité lumineuse de faisceaux lumineux ayant traversés les gaz. Le procédé comporte les
30 étapes suivantes :

- on extrait du signal une première mesure d'intensité lumineuse au cours d'une phase d'accélération du moteur ;

- on extrait du signal une seconde mesure d'intensité lumineuse au cours d'une phase de ralenti du moteur, les deux mesures étant suffisamment proches dans le temps pour assurer des conditions de mesure équivalentes ;

- on déduit le niveau d'opacité des gaz en calculant un coefficient d'absorption des gaz lors de la phase d'accélération à partir des mesures.

Selon un mode de réalisation, la première mesure correspond à un pic d'amplitude du signal, et la seconde mesure correspond à l'intensité lumineuse reçue pendant la phase de ralenti précédant la phase d'accélération. Selon ce mode de réalisation, on peut calculer le coefficient d'absorption de la phase d'accélération à partir de la Loi de Beer Lambert, et en considérant qu'un coefficient d'absorption des gaz au cours de la phase de ralenti est négligeable. On peut ainsi, par exemple, déduire le coefficient d'absorption par la relation suivante :

$$k_p = \frac{\ln(I_s / I_p)}{L}$$

où

k_p = coefficient d'absorption du pic d'amplitude

I_s = intensité lumineuse reçue pendant la phase de ralenti

I_p = intensité lumineuse reçue au maximum du pic d'amplitude

L = longueur d'une cellule dans laquelle les gaz sont collectés.

Selon un autre mode de réalisation, on peut mesurer un niveau d'opacité de gaz d'échappement émis par un moteur diesel, à partir d'un procédé dans lequel on réalise plusieurs cycles d'accélération/ralenti dudit moteur à partir d'un opacimètre comportant :

- une chambre de circulation de gaz comportant à une première extrémité un orifice d'entrée de gaz, et à une seconde extrémité un orifice de sortie de gaz,
- une chambre d'émission comportant une diode d'émission pour émettre un faisceau de lumière, et une photodiode de référence mesurant une intensité lumineuse de faisceaux

lumineux émis directement par la diode d'émission et de faisceaux lumineux réfléchis par une paroi transparente séparant la chambre de circulation de la chambre d'émissions,

- une chambre de mesure comportant une photodiode de mesure permettant d'acquérir un signal relatif à l'intensité lumineuse de faisceaux lumineux ayant traversés les gaz,

5 et dans lequel,

- on détecte des pics d'amplitude sur le signal, chaque pic correspondant à une phase d'accélération ;
- pour chaque pic détecté, on détecte une condensation de vapeur d'eau au sein de la chambre de circulation ;

10 - pour chaque pic détecté pour lesquels aucune condensation n'est détectée, on attend que la température augmente de quelques degrés à partir du moment où un tel pic est détecté ; puis

- on déduit le niveau d'opacité desdits gaz en calculant un coefficient d'absorption des gaz pour chaque pic détecté pour lesquels aucune condensation n'est détectée, à partir du
- 15 procédé décrit précédemment.

Selon ce mode de réalisation, on peut détecter une condensation de vapeur d'eau en détectant une augmentation d'intensité lumineuse dans la chambre d'émission, à partir de l'intensité lumineuse mesurée par la photodiode de référence. On peut également estimer une

20 évolution de température au sein de la chambre de circulation, à partir du signal. On peut aussi valider la mesure d'opacité, en réalisant les étapes suivantes : pour chaque cycle, on estime une valeur d'opacité correspondant à un pic d'amplitude au cours de la phase d'accélération, et l'on valide les mesures d'opacités lorsque les valeurs d'opacité de quatre pics successifs se situent dans une gamme de valeurs choisie.

25 Selon l'invention, on peut encore effectuer une phase de vérification, avant toute mesure d'opacité, de façon à contrôler que le niveau d'encrassement initial dudit opacimètre est inférieur à un seuil fixé, en comparant l'intensité lumineuse mesurée par la photodiode de référence et l'intensité lumineuse mesurée par la photodiode de mesure.

De façon avantageuse, on peut minimiser une condensation de vapeur d'eau en utilisant

30 la chaleur des gaz d'échappement pour chauffer la chambre de circulation.

La diode d'émission peut être commandée par des pulses de courant, de façon à émettre un faisceau lumineux de forte intensité tout en conservant une consommation moyenne faible, et l'on acquiert les mesures pendant le pulse de courant.

Enfin, selon l'invention, on peut compenser une dérive du courant d'obscurité des photodiodes en acquérant également les mesures après le pulse de courant, l'intensité lumineuse reçue par la photodiode correspondant à la différence entre une moyenne des mesures acquises pendant le pulse et une moyenne des mesures acquises après le pulse.

D'autres caractéristiques et avantages du procédé et du dispositif 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.

Présentation succincte des figures

- la figure 1 est un schéma de l'opacimètre selon l'invention.
- 15 - la figure 2 illustre un exemple de l'unité électronique de traitement (10) du dispositif selon l'invention.
- la figure 3 présente un chronogramme de la séquence d'acquisition des mesures selon le procédé de l'invention.
- La figure 4 représente un signal d'opacité obtenu sur une accélération.
- 20 - La figure 5 présente une implantation mécanique possible de l'opacimètre selon l'invention sur un pot d'échappement de véhicule.
- La figure 6 représente un détail de la chambre d'émission du dispositif.
- La figure 7 représente des résultats de mesures du niveau d'opacité pour une série de cycles d'accélération.
- 25 - La figure 8 montre l'évolution des signaux électriques de référence (*Ref*) et de mesure (*Mes*) pendant deux cycles d'accélération.
- La figure 9 illustre l'évolution de la température (*T*), en parallèle d'un signal (ϵ_{Ref}) issu de la photodiode de référence.

- La figure 10 représente des étapes du procédé, incluant les différents modes de réalisation permettant d'obtenir une valeur précise et fiable du niveau d'opacité des gaz d'échappement issus d'un moteur diesel.

5 Description détaillée de l'invention

Le dispositif

La figure 1 illustre l'opacimètre selon l'invention. Ce dispositif de mesure du niveau d'opacité de gaz d'échappement produit par un moteur diesel, comporte les éléments suivants :

- 10 - une chambre de circulation de gaz (2), dans laquelle les gaz d'échappement émis par le véhicule sont collectés et circulent. Elle s'étend sur une longueur déterminée, et peut être de forme cylindrique. A une extrémité, un orifice (1) permet l'introduction des gaz d'échappement, tandis qu'un autre orifice (3), situé à l'autre extrémité de la chambre, permet son extraction. Deux parois transparentes aux rayons lumineux (5 et 6), telles que
15 des plaques de verre, sont fixées à chaque extrémité, délimitant la longueur de la chambre de circulation (2). Ces plaques permettent de laisser passer les faisceaux lumineux tout en protégeant les moyens du dispositif extérieur à la chambre de circulation d'un encrassement dû aux gaz (dépôt de suie, ...).
- des moyens (4) pour émettre une lumière à travers la chambre de circulation, placés à une
20 extrémité de ladite chambre. Ces moyens peuvent correspondre à une ampoule ou à une diode électroluminescente (led). On peut choisir une diode dont le spectre d'émission se situe entre 550 nm et 570 nm conformément à la norme NF R 10-025-1.
- des moyens (8) pour capter et transformer la lumière émise et traversant la chambre de
25 circulation, en un courant électrique dont l'intensité est proportionnelle à l'intensité de la lumière captée. Ces moyens peuvent correspondre à une photodiode de mesure. Une photodiode est un composant semi-conducteur ayant la capacité de détecter un rayonnement du domaine optique et de le transformer en signal électrique.
- une unité électronique de traitement (10), comportant :
 - un module de pilotage de la diode électroluminescente (*SRCE, MC*) ;
 - 30 - un module d'acquisition du signal électrique issu de la photodiode (*AF, CAN, MC*)

- un module de traitement du signal électrique issu de la photodiode (*MC*). Ce module permet d'extraire du signal une première mesure d'intensité lumineuse au cours d'une phase d'accélération du moteur, et une seconde mesure d'intensité lumineuse au cours d'une phase de ralenti du moteur. Le module est conçu de façon à pouvoir extraire ces deux mesures sur un intervalle de temps réduit (quelques secondes par exemple). Ainsi, les deux mesures sont suffisamment proches dans le temps pour assurer des conditions de mesure équivalentes au sein du dispositif. Pour extraire une mesure lors d'une phase d'accélération, ce module peut comporter un moyen de détecter de fortes variations d'amplitudes du signal, telles que des pics. Ainsi, lorsque le module de traitement du signal électrique détecte un pic (de tension par exemple), il extrait la valeur maximale du pic. Un pic correspond alors à un pic d'intensité lumineuse (ce pic est négatif s'il y a absorption de lumière, Fig. 8, signal *Mes*)

Ce module permet alors de calculer l'opacité des gaz en phase d'accélération. Ce calcul est basé sur une mesure relative de l'opacité, fondée sur la loi de Beer-Lambert, et décrite ci-après dans le procédé selon l'invention. Selon l'invention, le niveau d'opacité correspond à un coefficient d'absorption de faisceaux lumineux par les gaz d'échappement.

- un module de transmission des résultats à l'utilisateur du dispositif (*MC*, *IHM*).

La figure 2, illustre un exemple de l'unité électronique de traitement (10). Selon ce montage, elle est constituée :

- d'une alimentation (*ALIM*) qui fournit le courant nécessaire aux différents constituants de l'unité et du dispositif. Elle est obtenue soit à partir de la tension batterie du véhicule à tester (via la prise d'allume cigare par exemple), soit à partir de piles ou d'accumulateurs.
- d'une source de courant constant (*SRCE*). Cette source permet de piloter la diode (4).
- d'un module (*AF*) d'amplification et de filtrage du courant issu de la photodiode (8).
- d'un Convertisseur Analogique Numérique (*CAN*) pour convertir en signaux numériques les tensions de sortie du module d'amplification et de filtrage.
- d'un micro contrôleur (*MC*). Il remplit les fonctions suivantes : commande de la source de courant (*SRCE*), acquisition des signaux de mesure via le CAN, calcul de l'opacité, et gestion de l'Interface Homme Machine (*IHM*).

- d'une Interface Homme Machine (IHM) permettant de communiquer avec l'utilisateur final. Elle peut être rudimentaire (constituée de quelques leds de signalisation), ou évoluée. Dans ce dernier cas, elle est constituée d'un afficheur LCD et de quelques boutons de commande. Elle peut être intégrée au système ou déportée pour faciliter la lecture des informations alors que le reste du système se trouve à proximité du pot d'échappement. Elle peut également être intégrée dans un système complexe déporté. Dans ce cas, elle est reliée à l'opacimètre via une liaison numérique, telle qu'une liaison RS232, RS 485, Bus Can, ou Ethernet.

Selon un mode de réalisation, les moyens d'émissions de faisceaux lumineux et les moyens capteurs sont placés à deux extrémités différentes de la chambre de circulation.

Selon un mode préféré de réalisation (figure 1), un miroir concave (7), situé derrière la paroi transparente (6), assure la réflexion du faisceau lumineux venant de la tête d'émission. Ce miroir peut également remplacer la paroi transparente (6), délimitant ainsi la longueur de la chambre de circulation (2). Dans l'une ou l'autre de ces configurations, les moyens d'émissions de faisceaux lumineux et les moyens capteurs sont placés à une même extrémité de la chambre de circulation, et le miroir concave est placé à l'autre extrémité. Ce miroir concave assure une réflexion des faisceaux lumineux vers les moyens capteurs. Ainsi, ce mode de réalisation permet de limiter la longueur de la chambre de circulation, et donc du dispositif. De façon préférentielle, pour améliorer la qualité des mesures, les caractéristiques dimensionnelles du miroir concave (7) et de la photodiode de mesure (8) sont telles que la photodiode capte la totalité du faisceau réfléchi par le miroir. Selon cette configuration, les moyens d'émissions de faisceaux lumineux sont placés dans une chambre d'émission (11), et les moyens capteurs sont placés dans une chambre de mesure (12), de façon à ce qu'aucun faisceau lumineux émis n'atteigne directement la chambre de mesure (12) sans avoir traversé la chambre de circulation (2) : aucun flux lumineux ne peut directement aller de la chambre d'émission à la chambre de mesure.

Selon cette configuration, un faisceau lumineux (en flèche pointillée sur la figure 1) est émis par la diode (4). Le faisceau traverse la paroi transparente (5), la chambre de circulation (2), la seconde paroi transparente (6), est réfléchi vers la chambre de mesure par le miroir

concave (7). Il retransverse la chambre de mesure (2) et les parois transparentes (5 et 6) avant d'arriver sur la photodiode de mesure (8).

Le procédé

5 Il existe deux méthodes pour effectuer une mesure d'opacité de gaz émis par un moteur. On peut placer le moteur dans des conditions de régime et de charge déterminées, les gaz d'échappement ont alors un taux d'opacité constant. Les valeurs obtenues dépendent du régime, de la charge et de l'état du moteur. On peut également, ne pas mettre le moteur en charge et provoquer des accélérations rapides, du ralenti jusqu'au régime maximum. Le
10 niveau d'opacité passe alors par un pic pendant la phase d'accélération. Le procédé selon l'invention utilise la seconde méthode.

Selon l'invention, on utilise la loi de Beer-Lambert pour réaliser une mesure d'opacité relative, dont le principe est présenté ci-après.

Soient :

15 I_1 = intensité lumineuse reçue par la photodiode à un instant T_1

I_2 = intensité lumineuse reçue par la photodiode à un instant T_2

On peut écrire

$$I_1 = I_{0(T_1)} * e(-k_1 * L)$$

$$I_2 = I_{0(T_2)} * e(-k_2 * L)$$

20 où $I_{0(T_1)}$ et $I_{0(T_2)}$ correspondent respectivement au signal de référence (initial) aux instants T_1 et T_2 . On suppose que ces deux instants sont suffisamment proches pour que les valeurs $I_{0(T_1)}$ et $I_{0(T_2)}$ soient égales. Ce qui revient à dire que l'intensité du faisceau lumineux et que l'état de cellule de mesure n'ont pas varié entre ces deux instants.

On peut alors écrire :

25
$$I_1 = I_0 * e(-k_1 * L)$$

$$I_2 = I_0 * e(-k_2 * L)$$

On a alors :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{I_0 * e(-k_1 * L)}{I_0 * e(-k_2 * L)} = e((k_2 - k_1) * L)$$

On en déduit

$$k_2 = \frac{\ln(I_1/I_2)}{L} + k_1$$

En conclusion, si deux mesures d'opacité sont proches l'une de l'autre, on peut exprimer l'une par rapport à l'autre en fonction du rapport de l'intensité lumineuse reçue pour ces deux mesures.

La méthode de mesure d'opacité repose sur la détection des pics de pollution lors de cycles d'accélération libres. Les mesures faites en accélérations libres se matérialisent par une suite de pics d'opacité. Pour chaque pic, on peut définir deux niveaux d'opacité :

- k_p (k pic), le niveau d'opacité maximum mesuré sur l'accélération.
- k_s (k seuil), le niveau d'opacité correspondant au régime de ralenti précédent l'accélération.

La figure 4 représente le signal d'opacité obtenu sur une accélération. L'axe des ordonnées représente la valeur de l'opacité, VOP , l'axe des abscisses le numéro de l'échantillon (de la mesure), NE . Comme ces deux valeurs, k_s et k_p , sont très proches l'une de l'autre (quelques secondes), on peut considérer que les conditions de mesure n'ont pas changé pour ces deux mesures.

On peut ainsi écrire :

$$k_p = \frac{\ln(I_s/I_p)}{L} + k_s$$

De plus, un moteur diesel, en bon état et fonctionnant au ralenti, émet des gaz d'échappement ayant une opacité très faible, de l'ordre de 0.05 m^{-1} . La norme NF R 10-025-2:1996 spécifie que la justesse de la mesure d'opacité est de 0.25 m^{-1} pour une gamme de mesure de 1.5 à 3 m^{-1} . On peut donc considérer que le niveau de pollution d'un moteur diesel au ralenti est très faible et négligeable par rapport à la justesse de mesure du test anti pollution. De plus, même en supposant qu'un moteur diesel, parce qu'il est mal réglé, ait un niveau de pollution au ralenti si élevé qu'il remette en cause cette hypothèse. Lorsqu'un moteur présente ce type de défaut, cela s'accompagne toujours de problèmes de combustion lors des accélérations, et donc, des pics de pollution très élevés. L'erreur amenée par la mesure

relative est minime face à l'amplitude des pics de pollution et le résultat reste identique : le moteur présente un niveau de pollution supérieur au seuil défini par la norme.

On peut donc finalement exprimer le niveau d'opacité du pic de pollution par la formule suivante :

$$5 \quad k_p = \frac{Ln(I_s / I_p)}{L}$$

Avec :

k_p = valeur de l'opacité d'un pic d'amplitude du signal

I_s = intensité lumineuse reçue pendant la phase de ralenti précédent le cycle

I_p = intensité lumineuse reçue au maximum du pic d'amplitude

10 L = longueur cumulée de la chambre de circulation, de la chambre d'émission et de la chambre de mesure ?

Ainsi, le procédé selon l'invention, pour mesurer le niveau d'opacité de gaz d'échappement émis par un moteur diesel, comporte les étapes suivantes :

- 15
- on collecte les gaz d'échappement dans une chambre de circulation ;
 - on émet un faisceau de lumière à travers les gaz collectés.

Puis, en réalisant au moins une accélération libre pour la stabilité des conditions de mesure, on calcule la valeur d'un coefficient d'absorption correspondant à une mesure d'opacité relative des gaz d'échappement :

- 20
- on enregistre un signal relatif à l'intensité lumineuse des faisceaux lumineux ayant traversés les gaz ;
 - on extrait du signal une première mesure d'intensité lumineuse au cours d'une phase d'accélération du moteur ;
 - on extrait du signal une seconde mesure d'intensité lumineuse au cours d'une phase
- 25 de ralenti du moteur. Les deux mesures sont suffisamment proches dans le temps pour assurer des conditions de mesure équivalentes ;

- on déduit de ces mesures un coefficient d'absorption des gaz en phase d'accélération, en négligeant le niveau de pollution du moteur diesel au ralenti, et en utilisant la formule suivante :

$$k_p = \frac{Ln(I_s / I_p)}{L}$$

5

Selon un mode préférentiel, la première mesure correspond à un pic d'intensité lumineuse (intensité lumineuse reçue au maximum du pic d'amplitude du signal), la seconde mesure correspond à l'intensité lumineuse reçue pendant la phase de ralenti précédant la phase d'accélération.

10

Phase d'acquisition

La diode (4) est pilotée par la source de courant constant (*SRCE*), via le micro contrôleur (*MC*). Toutes les 10 ms, la diode (4) est traversée par un pulse de courant constant d'une durée de 500 μ s. Le fait que la commande de la diode (4) soit effectuée par des pulses de courant, a l'avantage de permettre un courant de diode important, et donc un faisceau lumineux de forte intensité tout en conservant une consommation moyenne faible. Ce montage a également l'avantage de compenser les erreurs de mesure qui pourraient être dues au courant d'obscurité des photodiodes. La figure 3 présente le chronogramme de la séquence d'acquisition. Le signal du haut correspond à la commande (*CDE*) de la source de courant (*SRCE*). Le signal du bas correspond à la tension (*TEN*) du module d'amplification et filtrage (*AF*). Pour chaque pulse de courant, on obtient un pulse de tension, Le micro contrôleur (*MC*) commande l'acquisition de données (représentée par les flèches verticales) pendant le pulse de courant, mais aussi après le pulse, de façon avantageuse. La mesure réelle du niveau de lumière reçue par la photodiode correspond à la différence entre la moyenne des données acquises pendant le pulse et la moyenne des données acquises après le pulse. On compense ainsi la dérive du courant d'obscurité des photodiodes.

25

Le dispositif et le procédé selon l'invention permettent donc de réaliser une mesure relative de l'opacité des gaz d'échappement émis par un moteur diesel. Cette mesure relative, lorsqu'elle fait intervenir deux mesures proches dans le temps, permet de s'affranchir de l'encrassement par les suies. L'invention permet ainsi de simplifier et limiter la taille de

30

l'appareil, puisqu'il n'est plus nécessaire de compléter l'opacimètre par des moyens de ventilation.

Variantes

Selon d'autres modes de réalisation, le dispositif et le procédé sont complétés pour
5 répondre aux problèmes liés à l'utilisation d'un opacimètre.

Mesure de l'écart de température

Le rendement lumineux d'une diode est fonction de la température. Cela signifie que pour un courant constant traversant la diode, l'intensité lumineuse, et donc le signal de la
10 photodiode de référence dépend de la température de la diode.

A cette fin, le dispositif peut comporter des moyens pour mesurer la température dans la chambre de circulation des gaz, ou directement dans la chambre d'émission selon le mode de réalisation.

Pour réduire les coûts, et simplifier encore le dispositif, celui-ci peut comporter une
15 photodiode de référence (9), qui mesure le niveau du signal se trouvant au niveau de la chambre d'émission. La figure 6 représente un détail de la chambre d'émission. La photodiode de référence (9) est placée contre la diode d'émission (4). Elle capte donc une partie de la lumière émise par la diode, mais aussi, une partie de la lumière se trouvant dans la chambre d'émission (11). Le niveau de signal reçu est indépendant de la nature des gaz se trouvant
20 dans la chambre de circulation (2). Cette photodiode est connectée à l'unité électronique de traitement de façon similaire à la photodiode de mesure (8) : elle est reliée à un module (AF) d'amplification et de filtrage du courant issu de la photodiode (9), lui-même connecté au Convertisseur Analogique Numérique (CAN).

La figure 9 représente deux signaux. Le signal inférieur (lisse) correspond à une mesure
25 de température (T) réalisée par un capteur de température placé sur le corps de la chambre de circulation. Le signal supérieur (bruité) correspond au résultat d'un traitement effectué sur le signal de référence (ε_{Ref}). Les deux signaux sont normalisés au point d'origine (échantillon (NE) 2500). On constate que ces deux signaux sont parfaitement corrélés.

On peut donc compléter le procédé selon l'invention en estimant l'évolution de
30 température de la chambre d'émission, à partir du signal issu la photodiode de référence (9).

Pour réaliser cette étape, le dispositif comporte donc une photodiode de référence (9), ainsi qu'un micro contrôleur (MC) adapté à évaluer la température en fonction du signal issu de la photodiode de référence (9).

Les variations du signal de référence liées à la condensation de la vapeur d'eau sont éliminées par le traitement, parce qu'elles sont de fréquences plus élevées, et d'amplitude assez faible.

Traitement des vapeurs d'eau

Les gaz d'échappement moteur contiennent de la vapeur d'eau qui peut condenser sur des surfaces froides. Afin de réduire les coûts de fabrication, le dispositif ne dispose pas d'unité de chauffage. Il utilise, selon un mode de réalisation préférentiel, la chaleur des gaz d'échappement pour monter en température. Étant de petite taille, il peut être placé proche du pot d'échappement. Il arrive alors rapidement à une température de fonctionnement.

La figure 5 présente une implantation mécanique possible sur un pot d'échappement de véhicule. L'opacimètre (*Op*) est maintenu au pot d'échappement du véhicule (*Po*) grâce à une pince (*Pi*). Ce montage est réalisé de façon à assurer une distance minimale entre la sortie du pot d'échappement et la chambre de circulation (2).

De plus, selon l'invention, on peut munir le dispositif d'un module pour détecter les mesures qui sont entachées d'erreur suite à la condensation d'eau dans la chambre de mesure. Le procédé comporte alors une étape de détection de la condensation.

Tant que l'opacimètre n'a pas atteint une température suffisante, une partie de la vapeur d'eau contenue dans les gaz d'échappement va condenser, rendant la mesure incorrecte. Le dispositif a la capacité de détecter la présence de vapeur d'eau de deux manières différentes.

Mesure du faisceau d'émission

La figure 6 représente le détail de la chambre d'émission. La photodiode de référence (9) capte une partie de la lumière émise par la diode, mais aussi, une partie de la lumière se trouvant dans la chambre d'émission (11). Cette dernière étant due en grande partie à la lumière réfléchiée par la plaque de verre (5) assurant l'isolation entre la chambre de circulation

(2) et les chambres d'émission et de mesures. Lorsque de la vapeur d'eau se dépose sur la plaque de verre (5), le niveau de lumière réfléchi par la plaque de verre augmente, et donc, le niveau du signal issu de la photo diode de référence (9).

On peut donc compléter le procédé selon l'invention en mesurant l'intensité lumineuse de la chambre d'émission (faisceaux lumineux émis directement par les moyens d'émissions et des faisceaux lumineux réfléchis par la paroi transparente), de façon à détecter la présence d'eau condensée à l'intérieur de la chambre de circulation.

Suivi du niveau des pics d'opacité

Lorsque le système n'a pas atteint sa température de fonctionnement, la vapeur d'eau vient condenser pendant la phase d'accélération puis s'évaporer pendant la phase de ralenti. La figure 7 représente une série de cycles d'accélération. Les premiers pics ont une amplitude très grande par rapport aux suivants. Ils ont servi à faire monter le système en condition de température. La norme NF R10-025-3:1996 définit que, pour la détermination de la valeur de l'opacité, le système est stabilisé lorsque les valeurs d'opacité de quatre pics successifs se situent dans une gamme égale à 0.25 m^{-1} . L'examen de la figure 7 montre qu'en appliquant ce critère, on rejette les mesures entachées d'erreur pour cause de condensation de vapeur d'eau.

Ainsi, selon un mode particulier de réalisation, le procédé comporte une phase de validation de la mesure d'opacité, en réalisant les étapes suivantes : on réalise plusieurs cycles d'accélération/ralenti. Pour chaque cycle on estime une valeur d'opacité, correspondant à un pic au cours de la phase d'accélération. On valide les mesures d'opacités lorsque les valeurs d'opacité de quatre pics successifs se situent dans une gamme de valeur choisie. On peut utiliser la gamme définie par la norme : 0.25 m^{-1} .

Suivi de la température

Cette information est exploitée pour compléter le principe de détection de vapeur d'eau. Nous avons montré au paragraphe précédent qu'il est possible de détecter la présence de vapeur d'eau à partir du signal issu de la photodiode de référence. Pour être certain que la chambre de circulation ne contient plus d'eau condensée, nous fixons la règle suivante : il n'y a pas de risque d'erreur lié à la condensation de la vapeur d'eau quand on attend que le

système chauffe d'un saut de température fixé par défaut (de l'ordre de quelques °C) après avoir fini de détecter de la vapeur d'eau sur le signal de référence.

Encrassement

5 Le dispositif permet d'effectuer une mesure relative entre une valeur d'opacité (k_s) et une valeur d'opacité de pic (k_p). Il n'est donc sensible qu'à l'encrassement qui pourrait se produire entre ces deux mesures. Ces deux mesures étant très proches, cet encrassement est négligeable.

10 Par contre, l'encrassement progressif de la chambre de circulation provoque un affaiblissement régulier du signal de mesure. Ce qui risque à terme de provoquer des erreurs à cause d'un signal difficilement exploitable.

La figure 8 montre l'évolution des signaux (ε) de référence (Ref) et de mesure (Mes) pendant deux cycles d'accélération. La courbe du bas représente le signal issu de la photodiode de mesure (Mes). La courbe du haut représente le signal de référence. Cette figure 15 montre qu'il est possible de fixer un seuil en dessous duquel le rapport (signal de mesure / signal de référence) ne doit pas descendre. Ce seuil est une donnée usine déterminée à partir des caractéristiques mécaniques et optiques du système. Ce seuil est utilisé pour déterminer que le niveau d'encrassement ne vient pas perturber la mesure, mais aussi pour vérifier que les conditions d'alignement de la partie optique ont été remplies lors de la fabrication (contrôle de 20 l'opacimètre).

La figure 10 représente les étapes du procédé, incluant les différents modes de réalisation permettant d'obtenir une valeur précise et fiable du niveau d'opacité des gaz d'échappement issus d'un moteur diesel. La valeur I_m correspond à l'intensité lumineuse 25 mesurée par la photodiode de mesure, et la valeur I_r correspond à l'intensité lumineuse mesurée par la photodiode de référence.

Le dispositif selon l'invention fournit une information fiable de la mesure d'opacité à un coût beaucoup plus faible que celui des appareils utilisés dans les centres de contrôle 30 technique. Il est destiné à des particuliers ou des petits garages qui cherchent à connaître l'état d'un moteur dans le cadre d'un achat, d'une vente, d'une préparation au contrôle technique.

REVENDICATIONS

1. Dispositif pour mesurer un niveau d'opacité de gaz d'échappement produit par un moteur diesel, comportant : - une chambre de circulation de gaz s'étendant sur une longueur déterminée et comprenant à une première extrémité un orifice d'entrée de gaz, à une
5 seconde extrémité un orifice de sortie de gaz ; - des moyens d'émissions de faisceaux lumineux à travers ladite chambre de circulation placés à une extrémité de ladite chambre de circulation ; - des moyens pour capter et transformer des faisceaux lumineux émis et traversant ladite chambre de circulation, en un signal électrique proportionnel à l'intensité
10 lumineuse captée ; - une unité électronique de traitement comprenant un module de pilotage des moyens d'émissions et un module de traitement du signal électrique issu des moyens capteurs, caractérisé en ce que le module de traitement du signal comporte :

- des moyens pour extraire du signal une première mesure d'intensité lumineuse au cours d'une phase d'accélération du moteur, et une seconde mesure d'intensité
15 lumineuse au cours d'une phase de ralenti du moteur, ces moyens sont conçus de façon à pouvoir extraire ces deux mesures sur un intervalle de temps suffisamment réduit pour assurer des conditions de mesure équivalentes ; et
- des moyens de calcul d'un coefficient d'absorption lumineuse des gaz en phase d'accélération à partir des mesures extraites, pour définir le niveau d'opacité des gaz.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens d'émissions de faisceaux lumineux et les moyens capteurs sont placés à une même extrémité de la chambre de circulation, un miroir concave placé à l'autre extrémité assurant une réflexion des faisceaux lumineux vers les moyens capteurs.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que les moyens d'émissions de faisceaux lumineux sont placés dans une chambre d'émission et les moyens capteurs sont placés dans une chambre de mesure, de façon à ce qu'aucun faisceau lumineux émis n'atteigne directement la chambre de mesure sans avoir traversé la chambre de
30 circulation.

4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que la chambre d'émission comporte une photodiode positionnée de façon à capter des faisceaux lumineux émis directement par les moyens d'émissions et des faisceaux lumineux réfléchis par une paroi transparente séparant la chambre de circulation des moyens d'émissions, afin de détecter une condensation de vapeur d'eau au sein de ladite chambre de circulation.
5. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de chauffage de la chambre de circulation, afin de limiter une condensation des gaz au sein de ladite chambre de circulation.
6. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour mesurer la température au sein du dispositif.
7. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour compenser des dérives liées au courant d'obscurité des moyens capteurs.
8. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'unité électronique de traitement est conçue de façon à commander une source de courant constant (3) de façon à piloter les moyens d'émission pour qu'ils génèrent un pulse de courant d'une durée choisie à intervalle de temps régulier.
9. Procédé pour mesurer un niveau d'opacité de gaz d'échappement émis par un moteur diesel, dans lequel on collecte les gaz d'échappement, on émet un faisceau de lumière à travers les gaz collectés, et on acquiert un signal relatif à l'intensité lumineuse de faisceaux lumineux ayant traversés lesdits gaz, caractérisé en ce que le procédé comporte les étapes suivantes :
- on extrait du signal une première mesure d'intensité lumineuse au cours d'une phase d'accélération du moteur ;
 - on extrait du signal une seconde mesure d'intensité lumineuse au cours d'une phase de ralenti du moteur, les deux mesures étant suffisamment proches dans le temps pour assurer des conditions de mesure équivalentes ;
 - on déduit le niveau d'opacité desdits gaz en calculant un coefficient d'absorption des gaz lors de la phase d'accélération à partir desdites mesures.

10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel la première mesure correspond à un pic d'amplitude dudit signal, et la seconde mesure correspond à l'intensité lumineuse reçue pendant la phase de ralenti précédant la phase d'accélération.
11. Procédé selon la revendication 10, dans lequel on calcule le coefficient d'absorption de la phase d'accélération à partir de la Loi de Beer Lambert, et en considérant qu'un coefficient d'absorption des gaz au cours de la phase de ralenti est négligeable.
12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel on déduit le coefficient d'absorption par la relation suivante :

$$k_p = \frac{\ln(I_s / I_p)}{L}$$

10 où

k_p = coefficient d'absorption du pic d'amplitude

I_s = intensité lumineuse reçue pendant la phase de ralenti

I_p = intensité lumineuse reçue au maximum du pic d'amplitude

L = longueur d'une cellule dans laquelle les gaz sont collectés.

- 15 13. Procédé pour mesurer un niveau d'opacité de gaz d'échappement émis par un moteur diesel, dans lequel on réalise plusieurs cycles d'accélération/ralenti dudit moteur à partir d'un opacimètre comportant :

une chambre de circulation de gaz comportant à une première extrémité un orifice d'entrée de gaz, et à une seconde extrémité un orifice de sortie de gaz,

20 une chambre d'émission comportant une diode d'émission pour émettre un faisceau de lumière, et une photodiode de référence mesurant une intensité lumineuse de faisceaux lumineux émis directement par la diode d'émission et de faisceaux lumineux réfléchis par une paroi transparente séparant la chambre de circulation de la chambre d'émissions,

25 une chambre de mesure comportant une photodiode de mesure permettant d'acquérir un signal relatif à l'intensité lumineuse de faisceaux lumineux ayant traversés lesdits gaz,

et dans lequel,

- on détecte des pics d'amplitude sur ledit signal, chaque pic correspondant à une phase d'accélération ;
- pour chaque pic détecté, on détecte une condensation de vapeur d'eau au sein de la chambre de circulation ;
- 5 - pour chaque pic détecté pour lesquels aucune condensation n'est détectée, on attend que la température augmente de quelques degrés à partir du moment où un tel pic est détecté ; puis
- on déduit le niveau d'opacité desdits gaz en calculant un coefficient d'absorption des gaz pour chaque pic détecté pour lesquels aucune condensation n'est détectée, à partir
10 du procédé selon des revendications 9 à 12.
- 14. Procédé selon la revendication 13, dans lequel on détecte une condensation de vapeur d'eau en détectant une augmentation d'intensité lumineuse dans la chambre d'émission, à partir de l'intensité lumineuse mesurée par la photodiode de référence.
- 15. Procédé selon l'une des revendications 13 à 14, dans lequel on estime une évolution de
15 température au sein de la chambre de circulation, à partir dudit signal.
- 16. Procédé selon l'une des revendications 13 à 15, dans lequel on valide la mesure d'opacité, en réalisant les étapes suivantes : pour chaque cycle, on estime une valeur d'opacité correspondant à un pic d'amplitude au cours de la phase d'accélération, et l'on valide les mesures d'opacités lorsque les valeurs d'opacité de quatre pics successifs se
20 situent dans une gamme de valeurs choisie.
- 17. Procédé selon l'une des revendications 13 à 16, dans lequel on effectue une phase de vérification, avant toute mesure d'opacité, de façon à contrôler que le niveau d'encrassement initial dudit opacimètre est inférieur à un seuil fixé, en comparant l'intensité lumineuse mesurée par la photodiode de référence et l'intensité lumineuse
25 mesurée par la photodiode de mesure.
- 18. Procédé selon l'une des revendications 13 à 17, dans lequel on minimise une condensation de vapeur d'eau en utilisant la chaleur des gaz d'échappement pour chauffer ladite chambre de circulation.
- 19. Procédé selon l'une des revendications 13 à 18, dans lequel on commande la diode
30 d'émission par des pulses de courant, de façon à émettre un faisceau lumineux de forte

intensité tout en conservant une consommation moyenne faible, et l'on acquiert les mesures pendant le pulse de courant.

- 5 20. Procédé selon la revendication 19, dans lequel on compense une dérive du courant d'obscurité des photodiodes en acquérant également les mesures après le pulse de courant, l'intensité lumineuse reçue par la photodiode correspondant à la différence entre une moyenne des mesures acquises pendant le pulse et une moyenne des mesures acquises après le pulse.

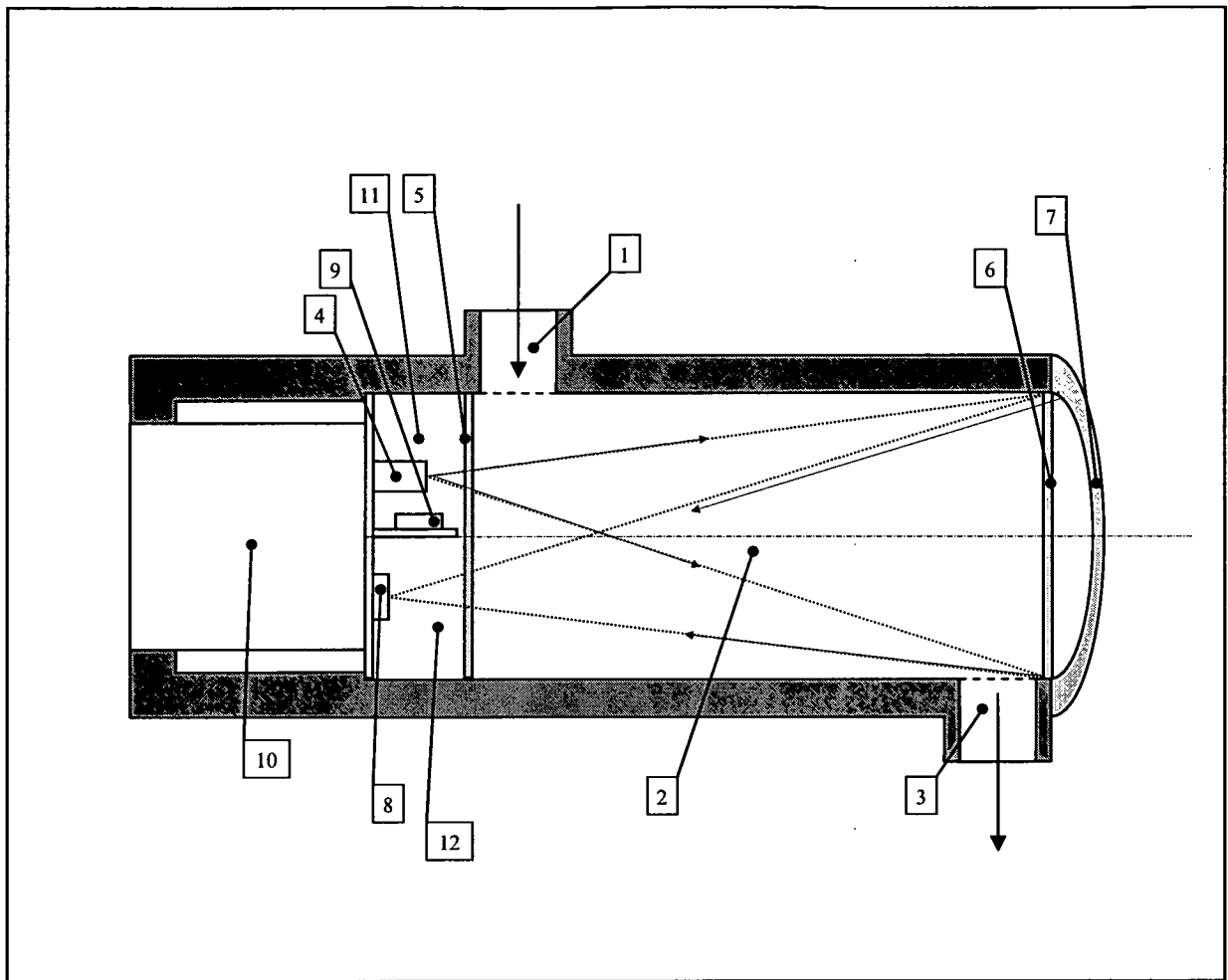


Fig. 1

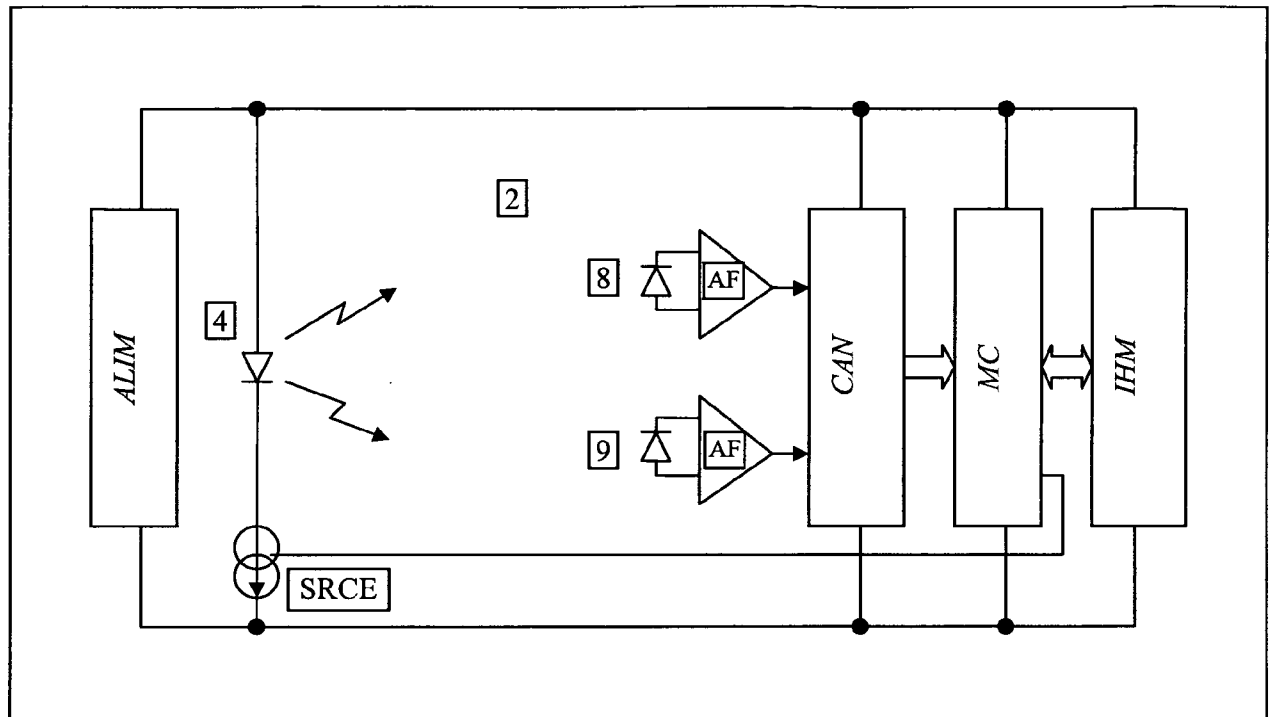


Fig. 2

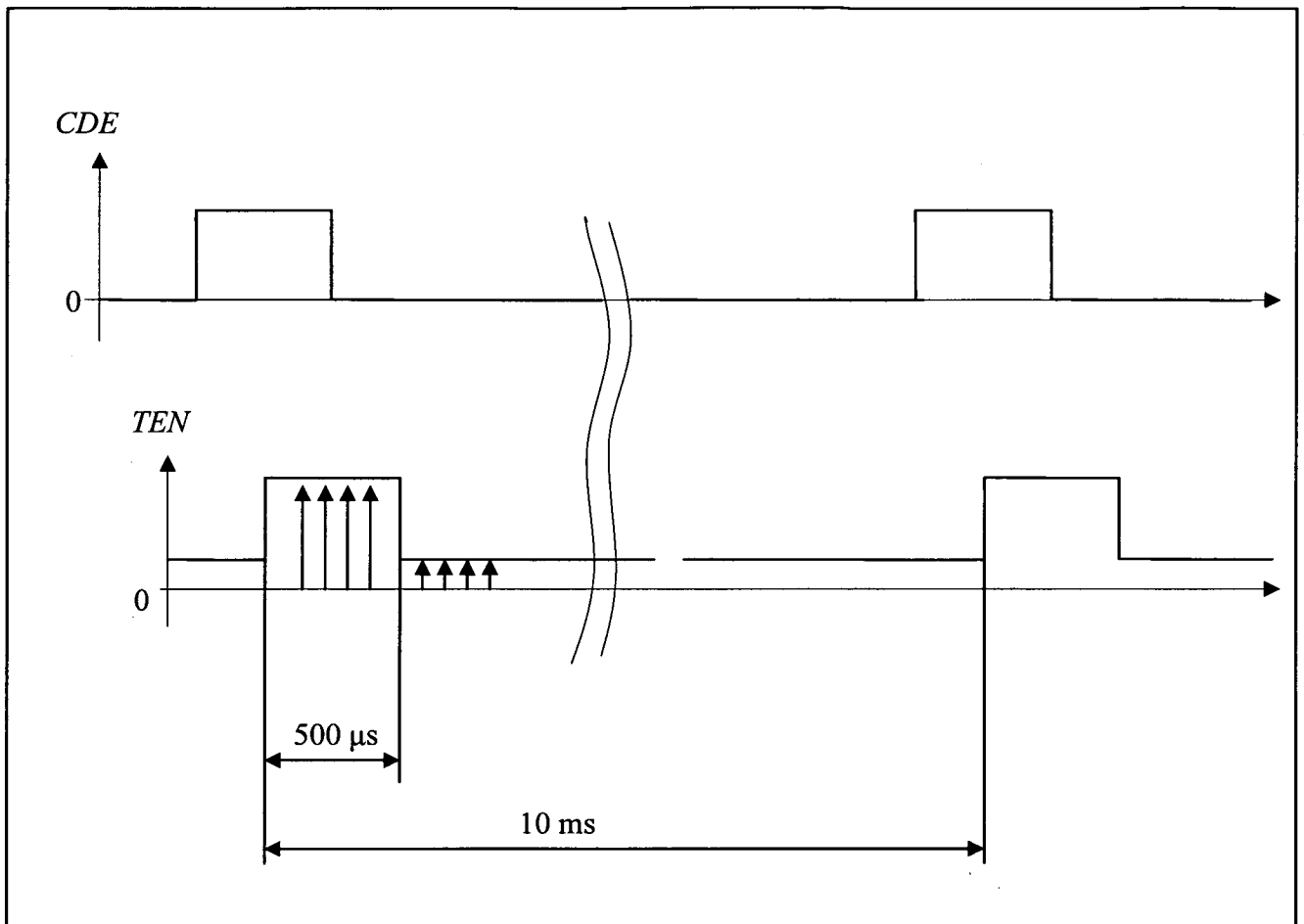


Fig. 3

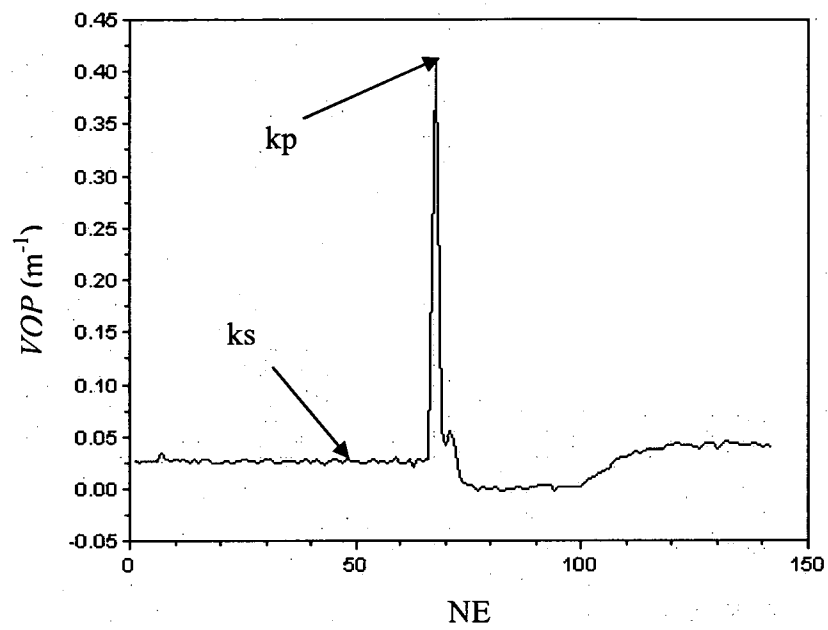


Fig. 4

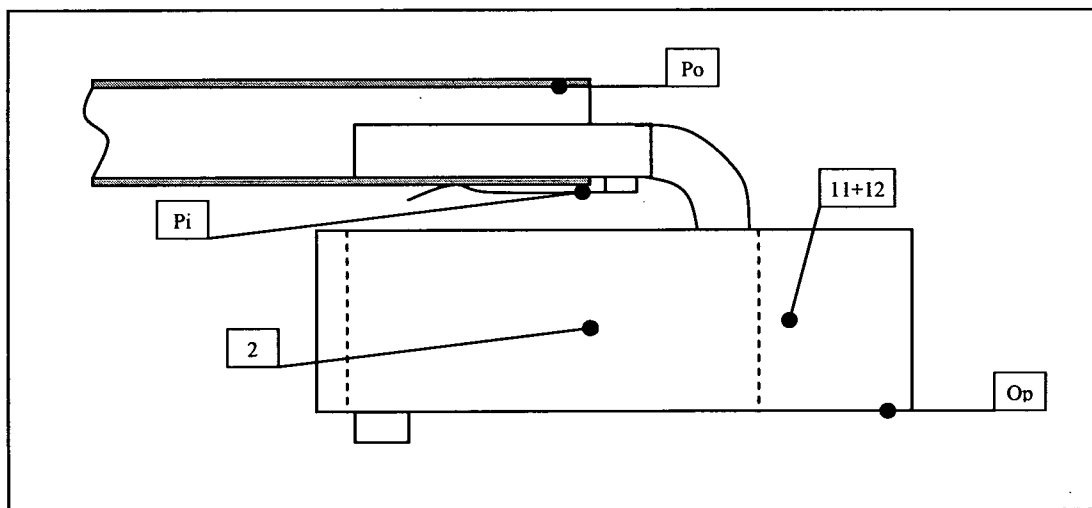
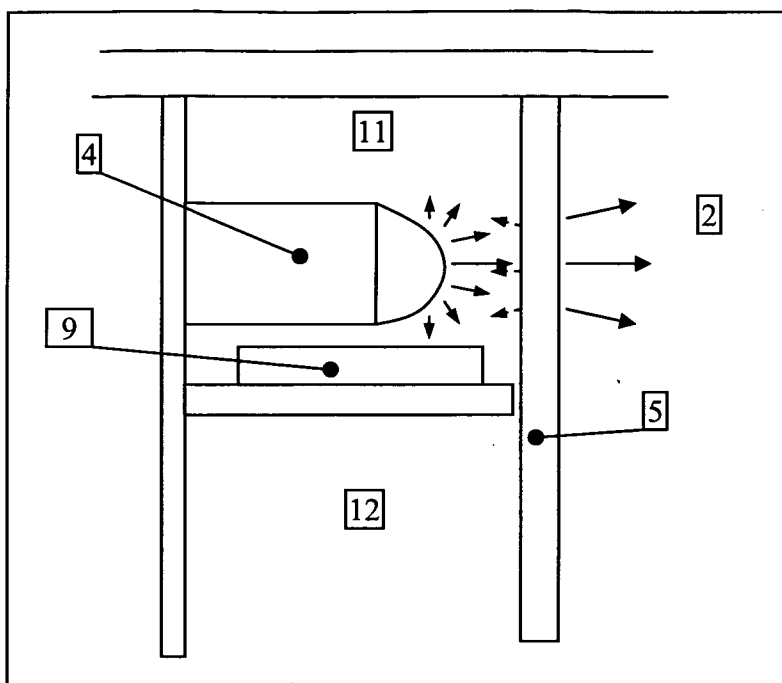
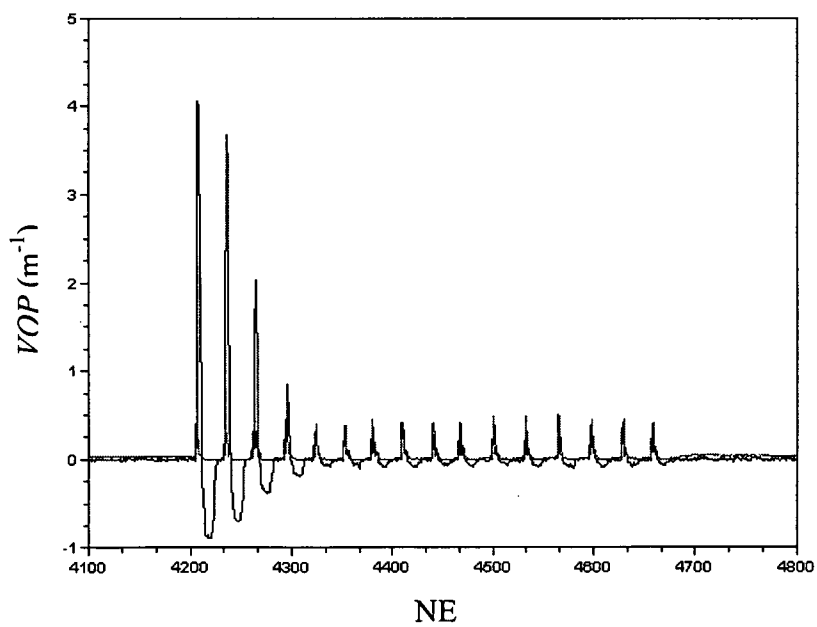


Fig. 5

**Fig. 6****Fig. 7**

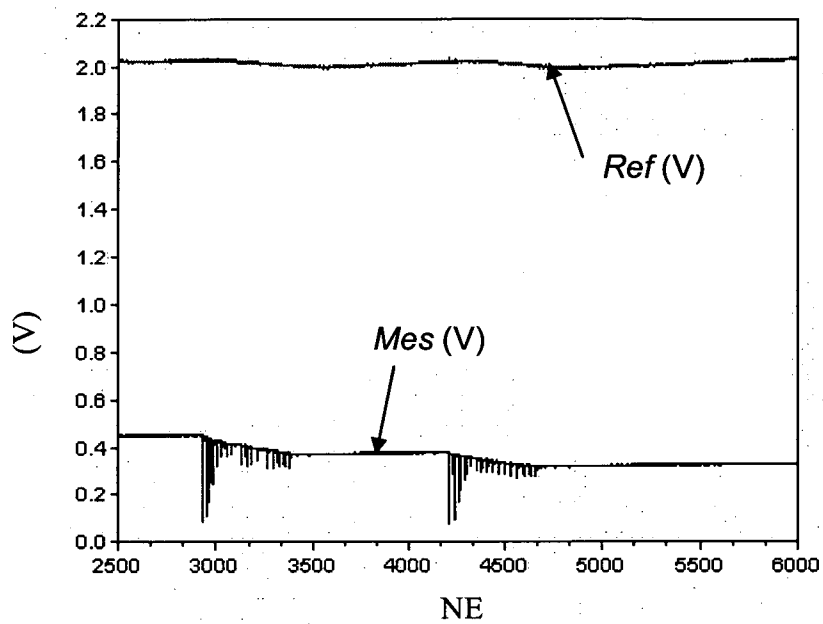


Fig. 8

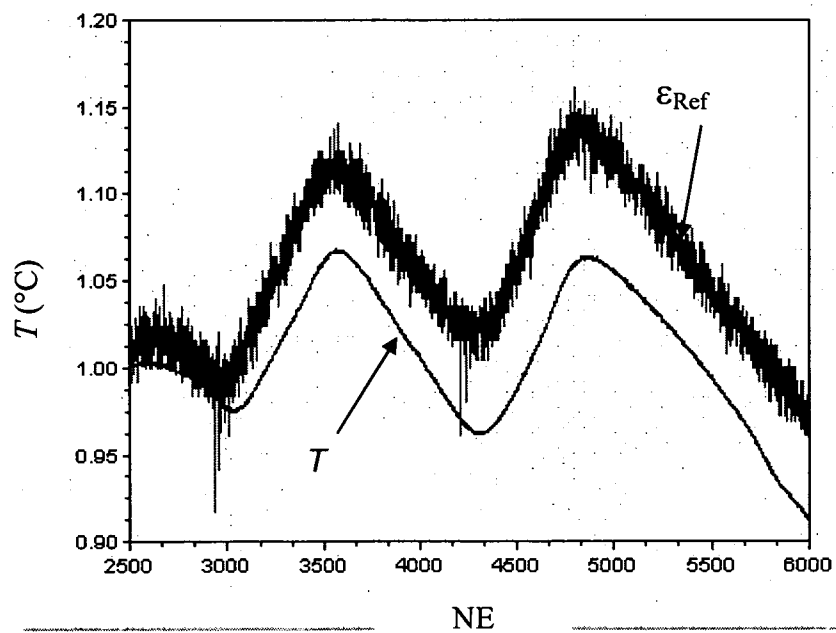


Fig. 9

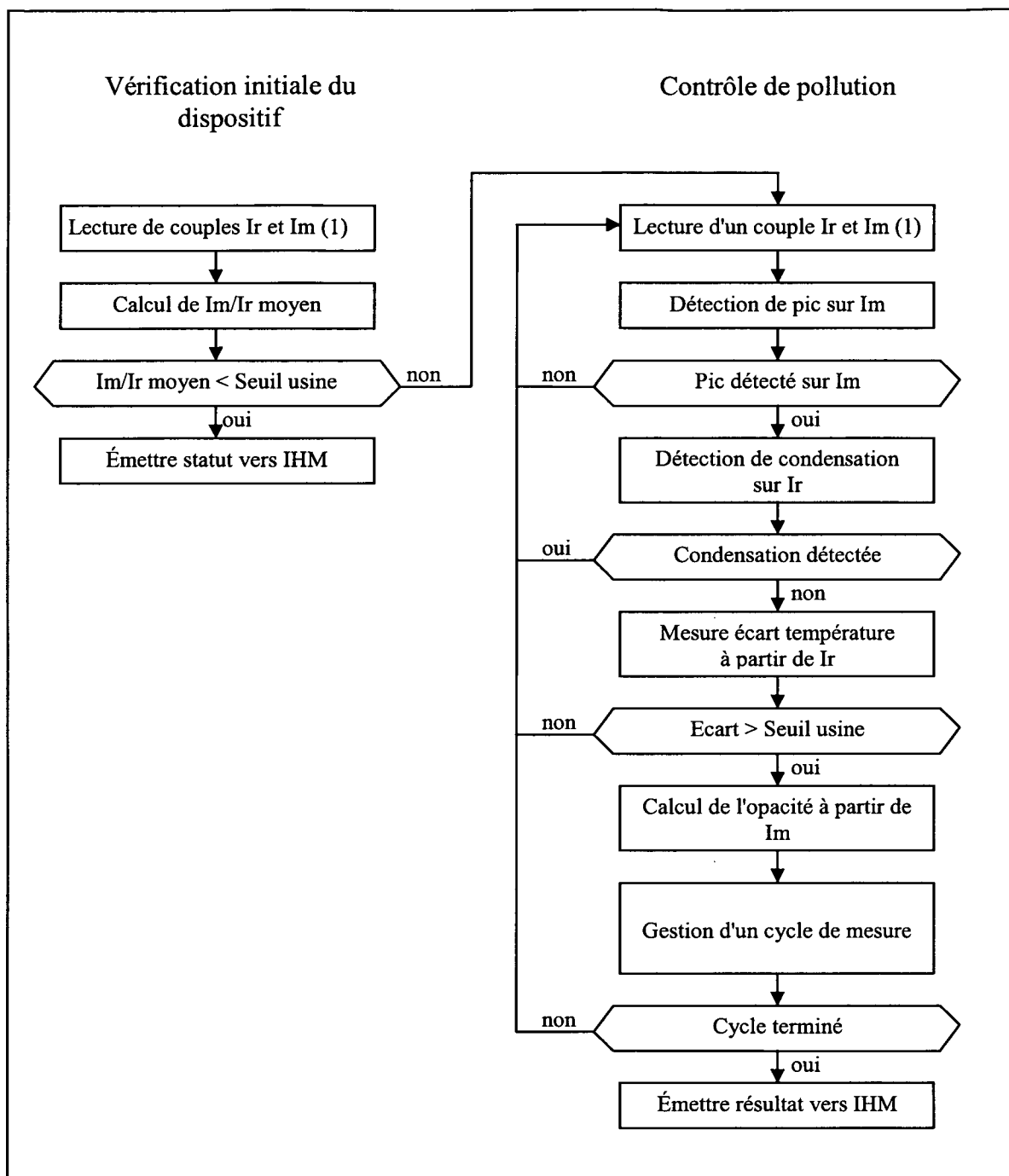


Fig. 10