

---

# NORME INTERNATIONALE



# 3173

---

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION • МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ • ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

---

## ● Véhicules routiers — Dispositif pour le mesurage de l'opacité des gaz d'échappement des moteurs diesel fonctionnant en régime stabilisé

*Road vehicles — Apparatus for measurement of the opacity of exhaust gas from diesel engines operating under steady state conditions*

Première édition — 1974-12-15 ([standards.iteh.ai](https://standards.iteh.ai))

[ISO 3173:1974](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/893e6efa-b760-4ab0-88da-114351a2b3ce/iso-3173-1974)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/893e6efa-b760-4ab0-88da-114351a2b3ce/iso-3173-1974>

---

CDU 621.43.06-74 : 629.11-843.6

Réf. N° : ISO 3173-1974 (F)

**Descripteurs** : véhicule routier, moteur diesel, gaz d'échappement, émission de gaz d'échappement, essai, mesurage, instrument de mesurage.

Prix basé sur 26 pages

## AVANT-PROPOS

L'ISO (Organisation Internationale de Normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (Comités Membres ISO). L'élaboration de Normes Internationales est confiée aux Comités Techniques ISO. Chaque Comité Membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du Comité Technique correspondant. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO, participent également aux travaux.

Les Projets de Normes Internationales adoptés par les Comités Techniques sont soumis aux Comités Membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes Internationales par le Conseil de l'ISO.

La Norme Internationale ISO 3173 a été établie par le Comité Technique ISO/TC 22, *Véhicules routiers*, et soumise aux Comités Membres en novembre 1973.

(standards.iteh.ai)

Elle a été approuvée par les Comités Membres des pays suivants :

ISO 3173:1974

Afrique du Sud, Rép. d'	Iran	Suisse
Australie	Irlande	Tchécoslovaquie
Autriche	Italie	Thaïlande
Belgique	Nouvelle-Zélande	Turquie
Brésil	Pays-Bas	U.R.S.S.
Egypte, Rép. arabe d'	Pologne	U.S.A.
France	Roumanie	Yougoslavie
Hongrie	Royaume-Uni	

Les Comités Membres des pays suivants ont désapprouvé le document pour des raisons techniques :

Allemagne  
Japon  
Suède

## SOMMAIRE

	Page
<b>1 Objet</b> . . . . .	1
<b>2 Domaine d'application</b> . . . . .	1
<b>3 Principe des opacimètres</b> . . . . .	1
<b>4 Caractéristiques des opacimètres</b> . . . . .	1
4.1 Spécifications de base . . . . .	1
4.2 Spécifications de construction . . . . .	1
4.3 Détails de conception . . . . .	3
<b>5 Données nécessaires et moyens de mesurage des paramètres</b> . . . . .	3
5.1 Données à fournir par le fabricant . . . . .	3
5.2 Moyens de mesure . . . . .	4
<b>6 Montage des opacimètres</b> . . . . .	4
6.1 Opacimètre à prélèvement . . . . .	4
6.2 Opacimètres à flux total . . . . .	4
<b>7 Vérification des types d'opacimètres</b> . . . . .	5
7.1 Objet et domaine d'application . . . . .	5
7.2 Considérations générales . . . . .	5
7.3 Définitions . . . . .	5
7.4 Données fournies par le fabricant . . . . .	5
7.5 Moyens de mesure . . . . .	5
7.6 Vérification de l'instrumentation . . . . .	5
7.7 Vérification des caractéristiques de débit par rapport à la conception interne . . . . .	5
<b>8 Vérification de la conformité en service des opacimètres</b> . . . . .	12
8.1 Objet et domaine d'application . . . . .	12
8.2 Points à vérifier . . . . .	13
8.3 Détail des vérifications . . . . .	13
<b>9 Procès-verbal de vérification de l'opacimètre</b> . . . . .	13
9.1 Données fournies par le fabricant . . . . .	13
9.2 Résultats de la vérification des instruments . . . . .	13
9.3 Résultats de la vérification des caractéristiques de débit . . . . .	14
<b>Annexes</b>	
<b>A Détermination de la température moyenne de gaz d'échappement</b> . . . . .	23
<b>B Essais statistiques</b> . . . . .	26

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 3173:1974

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/893e6efa-b760-4ab0-88da-114351a2b3ce/iso-3173-1974>

# Véhicules routiers — Dispositif pour le mesurage de l'opacité des gaz d'échappement des moteurs diesel fonctionnant en régime stabilisé

## 1 OBJET

La présente Norme Internationale définit les spécifications générales auxquelles doivent répondre les appareils de mesure de l'opacité des gaz d'échappement des moteurs diesel pour véhicules routiers, fonctionnant en régime stabilisé, ainsi que leur installation. Ces appareils sont généralement connus sous le nom d'«opacimètres».<sup>1)</sup>

Les chapitres 7 et 8 donnent le détail des essais à effectuer pour vérifier la conformité à la présente Norme Internationale d'un modèle particulier d'opacimètre, et les vérifications à faire en service pour s'assurer que lors de son utilisation l'opacimètre continue d'être conforme à la présente Norme Internationale. Le chapitre 9 donne le type de procès-verbal d'essai à employer pour enregistrer le résultat des essais de vérification.

## 2 DOMAINE D'APPLICATION

La présente Norme Internationale concerne les opacimètres pour moteurs diesel de véhicules routiers. Il ne couvre pas :

- les moteurs à pistons libres
- les moteurs fixes
- les moteurs marins
- les moteurs pour la traction sur rails
- les moteurs d'aviation
- les moteurs pour tracteurs agricoles et véhicules spéciaux pour le génie civil.

## 3 PRINCIPE DES OPACIMÈTRES

Le principe du mesurage consiste à faire passer un faisceau lumineux à travers une certaine longueur de l'agent à mesurer, et à utiliser la proportion de lumière incidente qui atteint le récepteur (par exemple une cellule photoélectrique) pour évaluer l'obscurcissement occasionné par cet agent.

## 4 CARACTÉRISTIQUES DES OPACIMÈTRES

### 4.1 Spécifications de base

Le gaz à mesurer doit être enfermé dans une enceinte ayant une surface interne non réfléchissante, ou un environnement optique équivalent.

Pour déterminer la longueur effective de la trajectoire lumineuse à travers le gaz, il faut tenir compte de l'influence possible des dispositifs protégeant la source lumineuse et la cellule photoélectrique.

Cette longueur effective doit être indiquée sur l'appareil.

Le cadran indicateur de l'opacimètre doit avoir deux échelles de mesure, l'une en unités absolues d'absorption de lumière, graduée de 0 à  $\infty$  ( $m^{-1}$ ) et l'autre en unités d'opacité graduée de 0 à 100 % suivant le flux lumineux atteignant la cellule photoélectrique : les deux échelles doivent aller de 0 pour le flux total de lumière jusqu'à la graduation maximale pour un obscurcissement complet.

L'opacité du gaz doit être rapportée à la pression ambiante, et à 100 °C.

### 4.2 Spécifications de construction

#### 4.2.1 Généralités

La conception doit être telle qu'en régime stabilisé, la chambre de fumée soit remplie d'une fumée uniforme.

Cette condition sera considérée comme remplie si

- a) la variation de la réponse de l'indicateur de l'opacimètre pendant une période de 10 s pour une fumée, à température constante et de masse volumique constante, d'environ  $1,7 m^{-1}$  mesurée au moyen d'un appareil d'enregistrement ayant un temps de réponse égal à 1 s, n'est pas supérieure à  $0,075 m^{-1}$ ;
- b) lorsque la chambre de fumée est divisée, la température moyenne dans les différentes sections ne diffère pas de plus de 7 °C.

1) La spécification de l'instrument et son installation sont basées à l'origine sur le travail de la C.E.C. incorporé dans les spécifications C.E.C. N° A-01-T-70 et A-01-M-70 qui furent rédigées pour satisfaire à la demande du Groupe de Travail WP 29 de la Commission Économique pour l'Europe des Nations Unies.

#### 4.2.2 Chambre de fumée et boîtier de l'opacimètre

On empêchera au maximum que la lumière diffusée vienne heurter la cellule photoélectrique par suite de réflexions internes ou d'effets de diffusion (par exemple, par revêtement des surfaces internes en noir mat, et par une disposition générale adéquate).

Les caractéristiques optiques doivent être telles que l'effet combiné de diffusion et de réflexion ne dépasse pas de 0,1 m<sup>-1</sup> l'échelle d'opacité lorsque la chambre de fumée est remplie d'une fumée ayant un coefficient d'absorption proche de 1,7 m<sup>-1</sup>.

#### 4.2.3 Source lumineuse

La source lumineuse doit être une lampe à incandescence, d'une température de couleur comprise entre 2 800 et 3 250 K.

#### 4.2.4 Récepteur

Le récepteur sera une cellule photoélectrique ayant une courbe de réponse spectrale similaire à la courbe photopique de l'œil humain (réponse maximale dans la gamme 550 à 570 nm et moins de 4 % de cette réponse maximale au-dessous de 430 nm et au-dessus de 680 nm).

La conception du circuit électrique, y compris celle de l'indicateur, doit assurer un rapport constant entre le courant de sortie de la cellule photoélectrique et l'intensité de la lumière reçue sur la gamme de réglage du circuit et sur la gamme des températures de fonctionnement de la cellule photoélectrique.

#### 4.2.5 Échelles de mesures

Le coefficient d'absorption lumineuse  $k$  est calculé par la formule

$$\phi = \phi_0 \times e^{-kL}$$

où

$L$  est la longueur effective de la trajectoire lumineuse à travers le gaz;

$\phi_0$  est le flux reçu par la cellule photoélectrique, quand l'appareil est rempli d'air propre;

$\phi$  est le flux reçu par la cellule photoélectrique, lorsque l'appareil est rempli de la fumée à mesurer.

Lorsque la longueur effective  $L$  d'un type d'opacimètre ne peut être évaluée directement d'après sa géométrie, elle doit être déterminée :

- ou par la méthode décrite en 7.7.5 b);
- ou par corrélation avec un autre type d'opacimètre dont la longueur effective est connue.

Le rapport entre l'échelle d'opacité 0 à 100 et le coefficient d'absorption est donné par la formule

$$k = -\frac{1}{L} \log_e \left( 1 - \frac{N}{100} \right)$$

où

$N$  est une lecture de l'échelle d'opacité;

$k$  est la valeur correspondante du coefficient d'absorption.

Le cadran indicateur de l'opacimètre doit permettre de lire un coefficient d'absorption de 1,7 m<sup>-1</sup> avec une précision de 0,025 m<sup>-1</sup>.

#### 4.2.6 Réglage et étalonnage de l'appareil de mesure

Le circuit électrique de la cellule photoélectrique et de l'indicateur doit être réglable, afin que l'aiguille puisse être remise à zéro lorsque le flux de lumière passe à travers la chambre de fumée remplie d'air propre ou à travers une chambre ayant des caractéristiques identiques.

La lampe étant éteinte et le circuit électrique de mesure ouvert ou court-circuité, la lecture sur l'échelle du coefficient d'absorption doit être réglée sur  $\infty$ , et elle doit demeurer sur  $\infty$  lorsque le circuit de mesure est reconnecté.

Une vérification intermédiaire doit être effectuée avec la lampe allumée, en plaçant, dans la chambre de mesure un écran représentant un gaz, dont le coefficient d'absorption connu  $k$ , mesuré comme en 4.2.5, se trouve entre 1,6 et 1,8 m<sup>-1</sup>. La valeur de  $k$  doit être connue à 0,025 m<sup>-1</sup> près. La vérification consiste à s'assurer que cette valeur correspond, à 0,05 m<sup>-1</sup> près, à la lecture obtenue sur l'indicateur lorsque l'écran est introduit entre la source lumineuse et la cellule photoélectrique.

#### 4.2.7 Pression du gaz à mesurer et de l'air de balayage

La pression du gaz d'échappement dans la chambre de fumée ne doit pas différer de plus de 4 mbar de la pression atmosphérique. Les variations de pression du gaz à mesurer et de l'air de balayage dans la chambre de fumée ne doivent pas provoquer de variation supérieure à 0,05 m<sup>-1</sup> du coefficient d'absorption dans le cas d'un gaz ayant un coefficient d'absorption de 1,7 m<sup>-1</sup>.

L'opacimètre doit être muni des dispositifs appropriés pour le mesurage de la pression dans la chambre de fumée. Les lectures doivent être faites avec une précision de 0,1 mbar.

Les limites de variation de pression du gaz et de l'air de balayage dans la chambre de fumée doivent être fixées par le fabricant de l'appareil.

#### 4.2.8 Température du gaz à mesurer

L'opacimètre doit être muni des dispositifs nécessaires pour évaluer la température moyenne du gaz dans la chambre de fumée, le fabricant doit spécifier les limites de fonctionnement. La température moyenne doit être indiquée à  $\pm 5$  °C près.

En tous points de la chambre de fumée la température du gaz d'essai au moment de la mesure de l'opacité ne doit jamais être inférieure à 60 °C et la température moyenne dans la chambre ne doit pas être supérieure à 120 °C.

Lorsque la température moyenne de fonctionnement ( $t$  °C) est différente de 100 °C, la mesure de l'opacimètre doit être rapportée à 100 °C par la formule

$$k_{\text{corrigé}} = k_{\text{observé}} \frac{(t + 273)}{373}$$

Cette gamme de température est celle dans laquelle il est admis que toute l'eau est en phase vapeur, mais que la somme des autres particules non solides non condensées (c'est-à-dire le total des carburants et d'huile imbrûlés et non condensés) est négligeable dans la fumée d'échappement à pleine charge. Dans ces conditions, la formule de correction pour l'effet de la température est valable. Si la fumée contient une quantité anormale de constituants non solides, la formule de correction ne peut plus être valable et un intervalle de température plus étroit autour de la condition de référence de 100 °C est alors choisi.

#### 4.3 Détails de conception

Les préchambres ou soupapes de détente éventuelles, se trouvant en amont de la chambre de fumée, ne doivent pas affecter les caractéristiques d'opacité du gaz entrant dans cette chambre de plus de 0,05 m<sup>-1</sup> pour un gaz d'opacité 1,7 m<sup>-1</sup>.

Lorsqu'un opacimètre est conçu pour fonctionner de façon intermittente, un thermomètre doit être prévu en amont de la soupape de by-pass réglant l'entrée du gaz dans la chambre de fumée. Le niveau du débit de la soupape de by-pass doit être réglé de telle sorte qu'une fois réglée d'après les instructions du fabricant la température de l'échantillon ne varie pas de plus de 5 °C entre les deux positions du by-pass.

## 5 DONNÉES NÉCESSAIRES ET MOYENS DE MESURAGE DES PARAMÈTRES

### 5.1 Données à fournir par le fabricant

**5.1.1** Longueur effective de la colonne de fumée dans des conditions d'échantillonnage représentant les limites inférieures recommandées de température et de pression du gaz d'échappement et la limite supérieure de pression de l'air de balayage (s'il y a lieu), ainsi que les conditions normales ambiantes du banc d'essai.

**5.1.2** Limites de pression de l'échantillon à l'entrée de la chambre de fumée.

**5.1.3** Limites de débit de l'air de balayage (s'il y a lieu). Celles-ci doivent comprendre les instructions de réglage.

**5.1.4** Les limites de température (par exemple, air ambiant et échantillon de gaz d'échappement) en donnant le point de mesure, et le rapport de ces limites avec la température moyenne du gaz d'échantillonnage dans la chambre de fumée.

**5.1.5** Limites des pertes d'air de balayage par le coffrage de l'opacimètre et conditions de mesure (s'il y a lieu).

**5.1.6** Instructions relatives aux dimensions limites des tuyauteries qui peuvent être utilisées en indiquant les orifices équivalents.

### 5.1.7 Données de débit

a) Débit total de l'échantillon vers l'opacimètre, en fonction de la pression à l'entrée de la chambre de fumée dans les conditions de sortie de 5.1.6 et aux limites de pression d'air de balayage indiquées en 5.1.3.

b) Débit de l'échantillon dans la chambre de fumée en fonction de la pression à l'entrée de la chambre de fumée dans les conditions de sortie de 5.1.6 et aux limites de pression de l'air de balayage données en 5.1.3. Cette donnée n'est nécessaire que lorsqu'une soupape de détente est installée dans l'opacimètre en amont de la chambre de fumée.

**5.1.8** Limites de fonctionnement de la source lumineuse :  
ou

a) limites de tension aux bornes de la source lumineuse et instructions concernant la durée de l'ampoule; ou

b) limites de lecture avec un filtre coloré d'étalonnage.

**5.1.9** Température de la surface de la cellule photo-électrique au-dessus de laquelle ses caractéristiques de réponse changent de façon significative.

**5.1.10** Caractéristiques spectrales de la cellule photo-électrique, y compris son filtre si l'on en utilise un.

**5.1.11** Limites de tension d'alimentation à l'intérieur desquelles l'opacimètre fonctionnera de manière satisfaisante (des limites séparées doivent être données pour la lampe et le ventilateur soufflant si ceux-ci ont des alimentations électriques différentes).

**5.1.12** Description technique de l'opacimètre comprenant le schéma du circuit électrique et des croquis cotés de la chambre de fumée et des zones adjacentes (par exemple, passages pour l'air et la fumée) avec les tolérances.

**5.1.13** Renseignements sur l'entretien de l'opacimètre, notamment les intervalles de nettoyage et toutes les précautions spéciales de fonctionnement particulières au modèle donné, y compris le fait de savoir si l'opacimètre est destiné à fonctionner de façon continue ou intermittente et, dans ce dernier cas, le temps nécessaire de passage de la fumée à travers l'opacimètre avant que l'on puisse relever une mesure.

## 5.2 Moyens de mesurage

5.2.1 L'instrumentation doit permettre de mesurer ce qui suit :

- a) Pression du gaz d'échappement à l'entrée de la chambre de fumée.
- b) Température au point spécifié par le fabricant pour le mesurage de la température du prélèvement.
- c) Pression de l'air de balayage (si on l'utilise).
- d) Température du gaz d'échappement en amont du by-pass (s'il y en a un).
- e) Tension à la lampe (à moins qu'une méthode particulière utilisant un filtre coloré soit prévue pour vérifier la température de couleur).
- f) Réponse du circuit de la cellule photoélectrique (pour indiquer par exemple l'opacité des gaz d'échappement).

5.2.2 Des commandes doivent être installées pour régler :

- a) La sensibilité du circuit de la cellule photoélectrique.
- b) Le débit de l'air de balayage.

5.2.3 Les accessoires suivants doivent être fournis pour les besoins de la vérification :

- a) Filtre pour vérifier la précision de la cellule photoélectrique et de son circuit.
- b) Diaphragme (ou équivalent) pour vérifier les pertes (lorsqu'on utilise l'air de balayage).
- c) Diaphragme (ou équivalent) pour vérifier les caractéristiques des pertes de charge dans les tuyaux d'évacuation.

## 6 MONTAGE DES OPACIMÈTRES

### 6.1 Opacimètre à prélèvement

Le rapport de la section transversale de la sonde à celle du tuyau d'échappement ne doit pas être inférieur à 0,05. L'introduction de la sonde de prélèvement dans le tuyau d'échappement ne doit pas affecter les performances du moteur.

La sonde doit être un tube ayant son extrémité ouverte dirigée vers l'amont, dans l'axe du tuyau d'échappement, ou du tuyau d'extension s'il en est exigé un. Elle doit être placée dans une section où la répartition de la fumée est approximativement uniforme. À cet effet, la sonde doit être placée aussi loin que possible en aval dans le tuyau d'échappement (ou, si besoin est, dans un tuyau d'extension) de sorte que si  $D$  est le diamètre du tuyau d'échappement au niveau de la sonde, l'extrémité de la sonde soit située dans une portion droite d'au moins  $6D$  de

long en amont du point de prélèvement et  $3D$  de long en aval. Si l'on utilise un tuyau d'extension, l'air ne doit pas pouvoir entrer au joint.

La pression dans le tuyau d'échappement et les caractéristiques de la perte de charge dans la conduite de prélèvement doivent être telles que la sonde recueille un échantillon équivalent à celui qui serait obtenu par prélèvement isocinétique. Si cela s'avère nécessaire, un réservoir de compensation de capacité suffisante pour amortir les pulsations et de forme compacte, peut être incorporé à la conduite de prélèvement aussi près que possible de la sonde. On peut également monter un refroidisseur. La conception du réservoir de compensation et du refroidisseur ne doit pas indûment perturber la composition des gaz d'échappement.

Une soupape à papillon ou un autre moyen d'augmenter la pression de prélèvement peut être placée dans le tuyau d'échappement au moins à  $3D$  en aval de la sonde de prélèvement, à condition que cela n'affecte pas les performances du moteur.

Les tuyaux de raccordement entre la sonde, le refroidisseur, le vase d'expansion (le cas échéant) et l'opacimètre doivent être aussi courts que possible tout en respectant les conditions de pression et de température prescrites en 4.2.7 et 4.2.8. La tuyauterie doit être inclinée de bas en haut depuis le point de prélèvement jusqu'à l'opacimètre, et l'on devra éviter les courbures trop brusques où la suie pourrait s'accumuler. Quand l'opacimètre est muni d'un piège à eau, le tuyau de prélèvement peut ne pas être continuellement ascendant pourvu qu'il n'y ait pas de courbes où la suie et l'eau puissent s'accumuler.

Une vérification doit être effectuée pendant l'essai pour s'assurer que les exigences de 4.2.7 concernant la pression et celles de 4.2.8, concernant la température dans la chambre de fumée sont respectées.

### 6.2 Opacimètres à flux total

Les seules précautions générales à observer sont les suivantes :

- Les joints des raccords de conduites entre le tuyau d'échappement et l'opacimètre ne doivent pas laisser entrer l'air extérieur.
- Les tuyaux reliant l'échappement à l'opacimètre doivent être aussi courts que possible. Le système de tuyauterie devra être incliné de bas en haut du tuyau d'échappement vers l'opacimètre, et les courbures brusques où la suie pourrait s'accumuler devront être évitées. Quand l'opacimètre est muni d'un piège à eau, le tuyau de circulation peut ne pas être continuellement ascendant pourvu qu'il n'y ait pas de courbes où la suie et l'eau puissent s'accumuler.
- Une vérification doit être effectuée pendant l'essai pour s'assurer que les conditions de 4.2.7, concernant la pression et celles de 4.2.8, concernant la température dans la chambre de fumée sont respectées.
- Un système refroidisseur peut également être exigé en amont de l'opacimètre.



## 7 VÉRIFICATION DES TYPES D'OPACIMÈTRES

### 7.1 Objet et domaine d'application.

Le présent chapitre donne le détail des modes opératoires à adopter pour vérifier qu'un opacimètre de type donné correspond aux exigences des chapitres 4 et 5. Il traite des opacimètres à flux total et des opacimètres à prélèvement avec et sans air de balayage. Les paragraphes ne sont pas tous applicables à tous les opacimètres, et leur observation dépend des détails de la conception des modèles, notamment leur mode de fonctionnement, continu ou intermittent. Lorsque cela est possible, chaque paragraphe renvoie aux alinéas correspondants des chapitres 4 et 5 auxquels se rapportent les essais.

### 7.2 Considérations générales

Afin de s'assurer qu'un type d'opacimètre correspond à la spécification, il est nécessaire d'abord de vérifier que certains instruments et certaines commandes exigés par la spécification sont bien montés sur l'opacimètre et que certaines limites de fonctionnement et certaines données sont bien spécifiées par le fabricant. L'essai de vérification consiste alors à s'assurer que les caractéristiques des instruments sont telles que l'exige la spécification et que, dans les limites revendiquées par le fabricant, l'opacimètre satisfait réellement aux exigences de la spécification. Pour les essais de vérification, certains instruments peuvent être nécessaires en plus de ceux qui sont normalement montés sur l'opacimètre.

Dans les domaines où il existe déjà des techniques expérimentales connues (par exemple, optiques et électriques), les essais ne sont pas décrits en détail, contrairement aux autres cas. Les instructions ne peuvent toutefois pas couvrir tous les modèles possibles d'opacimètres et d'essais; d'autres méthodes seront donc acceptées si elles sont de précision équivalente et respectent les conditions de réponse de la méthode décrite. Si l'on fait usage d'enregistreurs, il est indispensable de tenir compte de leur influence sur la réponse ou la sensibilité du circuit.

### 7.3 Définitions

Les symboles suivants sont utilisés :

- $k$  = coefficient d'absorption lumineuse (opacité) du gaz en mètres  $m^{-1}$  ( $m^{-1}$ );
- $L$  = longueur effective de la colonne de fumée de l'opacimètre, en mètres (m);
- $N$  = lecture sur l'échelle d'opacité, en pourcentage (%);
- $t$  = température, en degrés Celsius ( $^{\circ}C$ ).

### 7.4 Données fournies par le fabricant (5.1)

Vérifier que les données fournies par le fabricant couvrent tous les points exigés en 5.1 de la spécification.

### 7.5 Moyens de mesurage (5.2)

Vérifier que les instruments de mesurage de base fournis par le fabricant satisfont aux spécifications de 5.2.

## 7.6 Vérification de l'instrumentation

### 7.6.1 Température de couleur (4.2.3)

Vérifier que, dans les conditions indiquées (par exemple, tension aux bornes de l'ampoule électrique ou lecture avec un film coloré de vérification), la température de couleur de la source lumineuse est comprise entre 2 800 et 3 250 K.

### 7.6.2 Réponse de la cellule photoélectrique à différentes longueurs d'onde et différentes températures (4.2.4)

Vérifier que la caractéristique combinée de la cellule photoélectrique et du filtre a un maximum de réponse dans la gamme de 550 à 570 nm et une réponse inférieure à 4 % de ce maximum en-dessous de 430 nm et au-dessus de 680 nm.

Vérifier que la réponse de la cellule photoélectrique ne change pas lorsque celle-ci est employée à la température maximale spécifiée par le fabricant.

### 7.6.3 Précision du circuit de mesurage et de l'étalonnage (4.1 et 4.2.6)

a) Vérifier que le zéro de l'instrument peut être réglé de façon satisfaisante sur toute la gamme des tensions d'alimentation spécifiées par le fabricant et que, la lampe éteinte, la mesure de l'échelle est infinie, que le circuit de mesure soit connecté ou non.

b) Vérifier la précision de l'échelle de l'opacité en au moins 6 points compris entre 10 % et 95 % d'obscurissement. Cette vérification peut être faite sur un banc optique ou avec des écrans de densité neutre connue avec une précision de  $\pm 0,5$  %, ou encore par toute autre méthode équivalente convenable. L'échelle d'opacité est jugée satisfaisante si l'erreur d'échelle est toujours inférieure à 1 %. L'essai doit être effectué à la température normale et à la température maximale de la cellule photoélectrique données par le fabricant.

NOTE — Si l'on utilise des filtres de densité connue, il faut tenir compte du fait que la quantité de lumière passant à travers le filtre n'est pas exactement proportionnelle à sa densité, mais est modifiée par la réflexion sur les deux bords du filtre, entre le verre et l'air.

c) Vérifier que l'absorption du filtre d'étalonnage fourni avec l'opacimètre, intégrée sur la gamme de 430 à 680 nm suivant les caractéristiques de la cellule photoélectrique et du filtre, se trouve à  $\pm 0,025 m^{-1}$  près de la valeur marquée sur celui-ci.

d) Vérifier que le filtre d'étalonnage fourni avec l'opacimètre donne sur l'indicateur une lecture à  $\pm 0,05 m^{-1}$  près de la valeur marquée dessus.

## 7.7 Vérification des caractéristiques de débit par rapport à la conception interne

### 7.7.1 Répartition des températures (4.2.1 et 4.2.8)

#### 7.7.1.1 OBJET

Afin de déterminer l'opacité du gaz à  $100^{\circ}C$ , il est nécessaire de démontrer que l'indicateur de température

fourni par le fabricant évalue en fait la température moyenne du gaz dans la chambre de mesure. Ceci se démontre par comparaison des mesures de l'indicateur de température et des résultats de mesure de la répartition des températures dans la chambre de fumée. Cet essai permet aussi de vérifier que les températures minimale et maximale du gaz sont bien celles qui sont spécifiées en 4.2.8 et, lorsqu'une entrée centrale divise la chambre de fumée en deux, que la différence de température entre les deux moitiés est acceptable.

#### 7.7.1.2 PRÉPARATION DE L'ESSAI

Pour mesurer la répartition des températures, il convient de prévoir différents points de mesure le long de l'axe de la chambre de fumée. Tous les thermomètres doivent être enfermés dans des gaines assurant une bonne isolation thermique, à l'exception de la soudure, sans gêner l'écoulement des gaz. Comme méthode satisfaisante, on peut citer par exemple la technique qui consiste à placer dans l'axe de la chambre de fumée un couple thermoélectrique dont les fils, d'environ 0,1 mm de diamètre, sont soudés bout à bout; avec ce système toutefois, il peut s'avérer nécessaire d'utiliser une ampoule factice et une cellule photoélectrique percée de trous pour permettre le passage des fils. Un couple thermoélectrique peut également être utilisé pour mesurer éventuellement la température de l'air de balayage à proximité de l'endroit où il se mélange avec la fumée.

#### 7.7.1.3 MODE OPÉRATOIRE

L'opacimètre étant alimenté en gaz d'échappement ou en air chauffé, mesurer la répartition de la température, point par point, le long de l'axe de la chambre de fumée et de la température de l'air de balayage près de la zone de mélange dans les conditions stabilisées suivantes :

- température minimale de l'échantillon et débit minimal de prélèvement recommandés par le fabricant (pression minimale de l'échantillon et pression maximale de l'air de balayage);
- température maximale de l'échantillon et débit minimal de prélèvement recommandés par le fabricant (pression minimale de l'échantillon et pression maximale de l'air de balayage);
- température maximale de l'échantillon et débit maximal de l'échantillon recommandés par le fabricant (pression maximale de l'échantillon et pression minimale de l'air de balayage).

#### 7.7.1.4 ESTIMATION

Relever un diagramme de répartition des températures le long de l'axe de la chambre de fumée et, pour les opacimètres qui utilisent l'air de balayage, régler la répartition de la température pour tenir compte de la présence d'air se mélangeant à la fumée, par la méthode indiquée de l'annexe A, et évaluer comme suit :

- Calculer les températures moyennes  $t_a$ ,  $t_b$  et  $t_c$  dans les trois conditions d'essais et vérifier qu'exprimées en

températures absolues (K), elles correspondent, à 5 °C, près, aux températures relevées sur l'indicateur fourni par le fabricant.

- Vérifier que, dans la condition d'essai 7.7.1.3 a), la température du gaz d'essai avant le mélange avec l'air de balayage n'est pas inférieure à 60 °C.

- Calculer la température moyenne  $t_a$  et  $t_b$  dans les conditions d'essais 7.7.1.3 a) et b) et vérifier que

$$\frac{t_b + 273}{t_a + 273} \leq 1,06$$

Vérifier que dans la condition 7.7.1.3 c) la température maximale moyenne ne dépasse pas 120 °C.

- Trouver la distance  $l_m$  (à partir du point d'entrée de la fumée) sur le cheminement des températures pour la condition 7.7.1.3 b), à laquelle la température indiquée égale la température moyenne. Pour les autres parties de l'essai de vérification, la température à ce point sera supposée égale à la température moyenne de l'échantillon de gaz dans la chambre de fumée. Pour les opacimètres ayant une entrée centrale dans la chambre de fumée, déterminer  $l_{m1}$  et  $l_{m2}$  pour les deux moitiés de la chambre de fumée séparément. Pour les autres parties de l'essai de vérification, la température moyenne dans la chambre de fumée sera supposée être la lecture moyenne des deux couples thermoélectriques, un dans chaque moitié, montés à une distance 0,5 ( $l_{m1} + l_{m2}$ ) du centre. Un exemple de montage du couple thermoélectrique est donné à la figure 1.

- Pour les opacimètres ayant une entrée centrale dans la chambre de fumée, vérifier que la température moyenne dans les deux moitiés ne diffère pas de plus de 7 °C dans l'une ou l'autre des conditions d'essais.

### 7.7.2 Stabilité de lecture (4.2.1)

#### 7.7.2.1 OBJET

Dans les opacimètres utilisant l'air de balayage, il peut y avoir une région relativement grande où l'air et le gaz d'échappement aux extrémités de la chambre de fumée se mélangent. Ce mélange peut provoquer des tourbillons et une variation de la longueur effective, conduisant à une instabilité et à une possibilité d'erreur de lecture. De la même manière, si l'écoulement est divisé dans la chambre de fumée, à cause par exemple, de l'entrée centrale, le débit peut varier entre les deux moitiés de la chambre et faire ainsi varier les mesures de l'opacimètre. La grandeur de ces effets doit être vérifiée. D'autres modèles d'opacimètres, par exemple les opacimètres à flux total, peuvent aussi présenter des instabilités de mesure; cette instabilité doit être vérifiée sur tous les modèles.

#### 7.7.2.2 PRÉPARATION DE L'ESSAI

La sortie de la cellule photoélectrique doit être reliée à un enregistreur ayant une réponse en fréquence d'environ 1 s pour 90 % de l'échelle totale et une vitesse d'enregistrement d'au moins 10 mm/s. La sensibilité doit être telle que 4 mm

ne corresponde pas à plus de  $0,05 \text{ m}^{-1}$  pour une fumée d'opacité égale à  $1,7 \text{ m}^{-1}$ . Pour assurer la constance de l'opacité, l'échantillon d'échappement doit passer à travers une chambre d'amortissement ayant un volume d'au moins 20 fois le débit à travers le conduit de prélèvement en 1 s et doit sortir d'un moteur ayant une fréquence d'allumage d'au moins 5 000 par minute.

### 7.7.2.3 MODE OPÉRATOIRE

Enregistrer la réponse de la cellule photoélectrique pendant environ 10 s, tandis que l'on fait passer dans l'opacimètre une fumée constante d'environ  $1,7 \text{ m}^{-1}$  aux pressions minimale et maximale de l'échantillon.

### 7.7.2.4 ESTIMATION

La stabilité sera considérée comme satisfaisante si la différence entre les valeurs maximale et minimale enregistrées est inférieure à  $\pm 0,075 \text{ m}^{-1}$  dans toutes les conditions d'essai.

## 7.7.3 Réflectivité interne et diffusion (4.2.2)

### 7.7.3.1 OBJET

Si les surfaces internes de la chambre de fumée sont réfléchissantes ou insuffisamment fermées à la lumière extérieure, une lumière interpestive reflétée ou diffusée sera reçue par la cellule photoélectrique. Il faut mesurer l'importance de cet effet.

### 7.7.3.2 PRÉPARATION DE L'ESSAI

Le principe de la méthode est de différencier la lumière réfléchie ou diffusée de la lumière directe par focalisation de la lumière directe de la lampe à l'aide d'une lentille. La lumière due aux effets de diffusion et de réflexion peut alors se définir comme la lumière qui traverse le plan focal en dehors de la zone englobée par l'image du filament de la lampe dirigée vers le foyer. Ainsi, si l'image est un cercle de 10 mm de diamètre, toute lumière traversant le plan focal en dehors de ce cercle de 10 mm de diamètre, doit être de la lumière diffusée ou réfléchie. Un écran, placé dans le plan focal et percé d'un trou central légèrement plus grand que l'image du filament de la lampe, laisse passer la lumière formant l'image, mais arrête la plus grande partie de la lumière réfléchie ou diffusée. La mesure de la lumière avec et sans écran donne, par différence, la lumière réfléchie et la lumière diffusée<sup>1)</sup>. La préparation de l'essai nécessite le remplacement de la cellule photoélectrique par une lentille de longueur et de diamètre focaux approximativement égaux au diamètre de la partie sensible de la cellule photoélectrique, l'utilisation d'un écran noir mat d'orifice central légèrement plus grand que l'image de la lampe

formée par la lentille et un moyen de déplacement de la cellule photoélectrique pour recueillir la lumière passant par le trou de l'écran.

Toutes les dispositions nécessaires doivent être prises pour réaliser les mesurages dans deux conditions :

a) La lampe, la lentille, l'écran et la cellule photoélectrique sont montés dans l'opacimètre (voir par exemple, figure 3), la chambre de fumée étant à l'état normal (celui-ci n'est pas considéré comme un état «nouveau» mais les surfaces intérieures de la chambre de fumée ont été «conditionnées» par passage de fumée dans l'opacimètre fonctionnant normalement). Un dispositif doit permettre l'enlèvement rapide de l'écran de la trajectoire lumineuse. Il peut s'avérer nécessaire de modifier le boîtier de l'opacimètre pour y loger l'écran et la cellule photoélectrique, l'opacimètre continuant à fonctionner normalement en ce qui concerne le passage de la fumée et (le cas échéant) l'air de balayage.

b) La lampe, la lentille et la cellule photoélectrique doivent être montées dans des positions similaires à celle du montage mais dans un milieu non réfléchissant. Dans un opacimètre du type à l'échantillonnage, on peut, pour ce faire, enlever le tube à fumée et une partie du boîtier, et peindre l'intérieur du reste du boîtier en noir mat, l'essai étant réalisé dans une pièce aux murs peints en noir mat.

### 7.7.3.3 MODE OPÉRATOIRE

a) La lampe, la lentille, etc... étant disposées comme en 7.7.3.2 b) ci-dessus, régler la sensibilité du circuit électrique de manière à avoir une mesure de l'indicateur de  $1,7 \text{ m}^{-1}$  lorsque la lampe est allumée. Enlever l'écran et noter le nouveau relevé. Répéter les opérations pour avoir au moins quatre couples de mesures.

b) L'opacimètre étant monté comme en 7.7.3.2 a) ci-dessus et l'écran mis en position, régler la sensibilité du circuit électrique de manière à avoir une mesure de l'indicateur de  $1,7 \text{ m}^{-1}$  unités. Enlever l'écran et noter le nouveau relevé. Répéter les opérations pour avoir au moins quatre couples de mesures.

c) L'opacimètre étant monté comme en 7.7.3.2 a) ci-dessus et l'écran mis en position, régler la sensibilité de manière à avoir une indication nulle lorsque la chambre de fumée est remplie d'air propre. Faire passer une fumée d'environ  $1,7 \text{ m}^{-1}$  dans l'instrument et faire le relevé. Enlever l'écran et noter le nouveau relevé. Répéter les opérations pour avoir au moins quatre couples de mesures. (Un dispositif amortisseur de grand volume peut être nécessaire dans la conduite d'échantillonnage pendant cet essai pour adoucir les effets des variations du moteur; il est également recommandé d'enregistrer les signaux de sortie de la cellule photoélectrique.

1) À noter que la lumière n'entre pas seulement par réflexion et diffusion dans l'opacimètre mais peut aussi provenir de la dispersion lumineuse à la surface de la lentille. Cette dispersion peut être réduite grâce à l'utilisation d'une lentille anti-reflets mais le résidu de base doit être considéré dans les calculs.

7.7.3.4 EVALUATION

Soient  $\Delta_a$ ,  $\Delta_b$  et  $\Delta_c$  (moyennes d'au moins quatre valeurs) les variations de mesure dans les trois conditions, le réglage de l'essai est satisfaisant si :

$$\Delta_a < 0,1 \text{ m}^{-1} \text{ (il s'agit principalement de lumière dispersée à la surface de la lentille).}$$

Les caractéristiques de réflexion et de diffusion de l'opacimètre sont satisfaisantes si :

$$\Delta_b - \Delta_a < 0,65 \text{ m}^{-1}$$

et  $\Delta_c - \Delta_a < 0,1 \text{ m}^{-1}$

7.7.4 Température de la cellule photoélectrique (4.2.4)

7.7.4.1 OBJET

Au-dessus d'une certaine température, la sensibilité de la cellule photoélectrique change; cette température est donnée par le fabricant et l'objet de l'essai est de vérifier que celle-ci n'est pas dépassée dans les conditions les plus sévères de fonctionnement de l'opacimètre. Pour cet essai, un couple thermoélectrique reposant sur la surface du montage cellule/filtre est censé indiquer la température de la cellule photoélectrique.

7.7.4.2 PRÉPARATION DE L'ESSAI

Un couple thermoélectrique doit être placé sur la surface du montage cellule photoélectrique/filtre face au faisceau de lumière et dans son axe. Des dispositions doivent être prises pour alimenter l'opacimètre en gaz d'échappement ou en air aux plus hautes température et pression recommandées par le fabricant. Des dispositions doivent être prises pour chauffer l'air de balayage fourni au maximum recommandé par le fabricant.

7.7.4.3 MODE OPÉRATOIRE

Le gaz d'échappement ou l'air chaud doivent passer à travers l'opacimètre, fonctionnant par ailleurs normalement, jusqu'à ce que la température de la cellule photoélectrique soit stabilisée. Cette température doit être mesurée avec la température et la pression du gaz et la température de l'air de balayage.

7.7.4.4 ESTIMATION

La spécification est considérée comme respectée si la température de la cellule photoélectrique est inférieure au maximum recommandé par le fabricant.

7.7.5 Longueur effective (4.2.5)

7.7.5.1 OBJET

La longueur effective, indiquée par le fabricant, doit être vérifiée pour voir si elle correspond à l'étalonnage absolu de l'opacimètre; elle peut être obtenue soit par comparaison avec un opacimètre dont la longueur effective est connue, soit par comparaison des lectures relevées avec l'opacimètre fonctionnant normalement mais modifié de sorte que la fumée remplisse une longueur connue. Dans les deux cas, il est nécessaire de connaître également la température moyenne du gaz dans la chambre de fumée afin de permettre la correction de la différence de température entre le fonctionnement normal et le fonctionnement de référence ou modifié de l'opacimètre.

7.7.5.2 COMPARAISON AVEC UN OPACIMÈTRE CONNU

7.7.5.2.1 Préparation de l'essai

L'opacimètre essayé et l'opacimètre connu doivent être reliés pour permettre un prélèvement simultané. Le prélèvement de chaque opacimètre doit être contrôlé jusqu'aux limites inférieures de température et de débit d'échantillonnage recommandés par le fabricant (pression minimale de l'échantillon et pression maximale de l'air de balayage). On doit prévoir la mesure de la température moyenne,  $t$ , dans la chambre de fumée de l'opacimètre essayé conformément aux indications de 7.7.1.

7.7.5.2.2 Mode opératoire

Des lectures simultanées doivent être relevées sur les deux opacimètres avec de la fumée d'opacité comprise entre 40 et 60 unités. Un minimum de dix mesurages doit être effectué.

7.7.5.2.3 Estimation

Pour chaque lecture d'opacité, calculer la longueur effective à l'aide de la formule

$$L = L_o \times \frac{t + 273}{t_o + 273} \times \frac{\log\left(1 - \frac{N}{100}\right)}{\log\left(1 - \frac{N_o}{100}\right)}$$

où  $L$ ,  $N$  et  $t$ , se réfèrent à l'opacimètre essayé et  $L_o$ ,  $N_o$  et  $t_o$  à l'opacimètre connu. La moyenne des lectures doit être prise comme longueur effective. Vérifier que la longueur effective moyenne peut être déterminée avec une précision de  $\pm 1\%$ <sup>1)</sup> pour un intervalle de confiance de 95%<sup>2)</sup>. Si ce degré de confiance n'est pas atteint, continuer les essais jusqu'à ce que les conditions statistiques soient respectées. Le calcul des limites de confiance doit tenir compte de la précision connue de l'opacimètre de référence. Cette dernière doit être nettement supérieure à  $\pm 1\%$ .

1) Actuellement cette valeur peut atteindre jusqu'à 2 %.

2) L'annexe B donne quelques notes sur les essais statistiques.